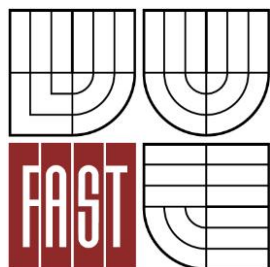




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

VERTIKÁLNÍ KOŘENOVÁ ČISTÍRNA PRO OBEC DO 500 EO

THE VERTICAL CONSTRUCTED TREATMENT WETLAND FOR VILLAGE TO 500 PE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN OPLETAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MICHAL KRIŠKA, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání DP

Druhá strana zadání DP

Abstrakt

Cílem této práce byl návrh kořenové čistírny odpadních vod pro obec do 500 EO. Návrh kořenové čistírny odpadních vod byl proveden pro obec Vlachova Lhota (Okres Zlín). Byly navrženy dvě varianty. První varianta se skládá z mechanického předčištění a vertikálních, pulzně skrápěných kořenových filtrů. První varianta splňuje vládou nařízené limity pro vypouštění odpadních vod. Splnění limitů je podloženo nakalibrovaným modelem čistící účinnosti vertikálního, pulzně skrápěného kořenového filtru. Model byl vytvořen Ing. Mirkou Němcovou v programu Hydrus. Druhá varianta přidává k variantě první terciální stupeň čištění odpadních vod. Terciální stupeň čištění byl navržen jako řešení pro účinné odstranění všech polutantů sledovaných ve vypouštěné odpadní vodě čistíren odpadních vod. Kombinace technologií terciálního stupně čištění odpadních vod zatím nebyla v praxi aplikována a její efekt a účinnost lze pouze odhadovat. Terciální stupeň může sloužit jako první provozně výzkumná jednotka, která umožní další rozvoj poznání v oblasti přírodě blízkých způsobů čištění odpadních vod.

Klíčová slova

Vertikální kořenová čistírna, do 500 EO, pulzní skrápění, Vlachova Lhota, srážení fosforu

Abstract

This thesis aims to propose a design of a vertical flow constructed wetland for a village up to 500 PE. The project is conducted for the town of Vlachova Lhota (Zlín district), and two alternatives are presented here. The first is based on mechanical pre-treatment and an intermittently loaded vertical flow constructed wetland. This alternative meets the state limits of wastewater discharge, which was demonstrated by a calibrated model of the effectiveness of an intermittently loaded vertical flow constructed wetland. This model was designed by Ing. Mirka Němcová using Hydrus software. The second alternative includes, in addition to the first design, tertiary sewage treatment. Tertiary treatment was proposed as an effective solution to removing all monitored pollutants in wastewater discharge. A combination of technologies of tertiary sewage treatment has not been put into practice, therefore the outcome and the effectiveness of the process can only be estimated. Tertiary sewage treatment would function as the first operational research unit, which could produce further findings in the field of sewage treatment using nature-based methods.

Keywords

Vertical constructed wetland, 500 PE, puls distribution, Vlachova Lhota, phosphorus removal

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Jan Opletal *Vertikální kořenová čistírna pro obec do 500 EO*. Brno, 2016. 52 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního
hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 14.1.2016

.....

podpis autora

Bc. Jan Opletal

Poděkování

Mockrát bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce Ing. Michal Kříškovi, Ph.D. za trpělivost a odbornou pomoc při vypracovávání této práce. Dále děkuji Ing. Mirce Němcové za poskytnutí nakalibrovaného programu Hydrus. Nakonec mé díky patří firmě ASIO (Karel Plotěný, Jana Matysíková) za poskytnuté konzultace

OBSAH

Obsah.....	9
Úvod	11
1 Identifikační údaje stavby	12
2 Popis zájmového území	13
2.1 Geomorfologie území	14
2.2 Klimatické podmínky	15
3 Podklady pro návrh ČOV	16
3.1 Stručná charakteristika řešeného území	17
3.2 Stávající stav kanalizační sítě	17
3.3 Výhledový stav kanalizační sítě	17
3.4 Jakost odpadní vody a nakládání s odpadní vodou.....	19
3.5 Produkce odpadních vod	19
3.6 Složení znečištěných odpadních vod	20
3.7 Jakost vypouštěných odpadních vod	21
3.8 Způsob čištění OV	21
3.9 Zpracování odpadních produktů čištění odpadních vod.....	22
3.10 Vyústění OV z KČOV	23
3.10.1 Bezejmenný pravostranný přítok Smolinky	23
3.10.2 Smolinka.....	23
4 Technologické objekty ČOV Vlachova Lhota.....	24
4.1 Odlehčovací komora a dešťová zdrž	24
4.2 Objekty předčištění	25
4.2.1 Ručně stírané jemné česle	25
4.2.2 Horizontální lapák písku	26
4.2.3 Tříkomorový septik	28
4.3 Rozdělovací šachta	29

4.4	Zemní filtr s vegetací	29
4.4.1	Trubní systém filtru	30
4.4.2	Vegetační pokryv	31
4.4.3	Náplň filtru	32
4.5	Terciální stupeň čištění odpadních vod	33
4.6	Chemické srážení fosforu	34
4.6.1	Technologie srážení fosforu	35
4.6.2	Kalová nádrž	35
4.7	Měrný objekt.....	35
4.8	Kalové hospodářství	36
5	Model zemního filtru v programu Hydrus	37
5.1	Simulace v modelu CW2D pro návrh ČOV Vlachova Lhota	37
5.1.1	Výsledky simulace při Q_{24}	39
5.1.2	Výsledky simulace při Q_d	41
6	Provozní deník	43
	Diskuze.....	44
	Závěr.....	46
	Citace.....	47
	Normy a zákony.....	47
	Články.....	47
	Internetové zdroje	49
	Seznam zkratk	50
	Seznam příloh.....	51

ÚVOD

Od roku 1987, kdy se v České republice začaly projektovat a realizovat první kořenové čistírny, se začal vyvíjet i pohled na tento alternativní způsob čištění odpadních vod. Nepříznivou roli ve formování odborných názorů hrál fakt, že řada čistíren je od prvopočátku špatně navržena, případně nevhodně provozována. Důkazem je tristní situace, kdy převládá negativní povědomí o kořenových čistírnách. Stejně jako v jiných oblastech, i v případě špatně fungující kořenové čistírny se negativní informace šíří podstatně rychleji než pozitivní, což popularitě kořenových čistíren příliš nepřispívá. Pravdou zůstává, že zejména na Moravě je perfektně fungujících kořenových čistíren stále velice poskrovnu. Pro dobrou inspiraci při řešení problémů však není nutné chodit příliš daleko. Vzorem nám může být Rakousko, kde se na kořenové čistírny nedívají skrze prsty. V Rakousku jsou kořenové čistírny plnohodnotným technickým řešením, které dokáže bez problémů konkurovat jiným typům čistíren odpadních vod. Nutno ale podotknout, že přístup ke kořenovým čistírnám je zde odlišný již od samotné projekce - používají jiná uspořádání kořenových polí, jiné technologické detaily řešení, jiné filtrační materiály, apod.

Cílem mé diplomové práce je zpracování projektu kořenové čistírny odpadních vod, která využívá poznatků výzkumného projektu MPO TIP FR-TI3/778 s názvem „BIOSTREAM“ - Čištění odpadních vod v integrovaném biotechnologickém systému, stejně tak druhého výzkumného projektu Technologické agentury České republiky ev. č. TA02021032 s názvem "ANASEP" - Anaerobní separátor nerozpuštěných látek a nutrientů.

Projekt kořenové čistírny je navržen jako jeden z prvních svého druhu. Popsané uspořádání lze definovat jako novou generaci kořenových čistíren odpadních vod splňující stále přísnější pravidla pro vypouštění odpadních vod. Část popisující vertikální kořenové filtry vychází z vlastního měření na kořenové čistírně v obci Kotenčice, které je včetně výsledků popsáno v bakalářské práci (Opletal, 2014). Realizace čistírny odpadních vod podle mé diplomové práce je předpokladem ke spolehlivým výsledkům a nízkým odtokovým koncentracím všech sledovaných znečištění.

1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE STAVBY

Obec Vlachova Lhota

Vlachova Lhota 68, 76601 Valašské klobouky

IČO: 46276033

Status/ typ sídla: Obec / Ostatní obce

Kód právní formy: místní samospráva – CIS 801

ZUJ (kód obce): CZ0724586994

Obec s pověřeným úřadem: Město Valašské klobouky

Obec s rozšířenou působností: město Valašské klobouky

Okres (NUTS 4): CZ0724 – Zlín

NUTS3: CZ072 – Zlínský kraj

NUTS2 – region soudržnosti: CZ07 – Střední Morava

Telefon: 577320803

WWW: www.vlachova-lhota.cz

E-mail: podatelna: vlachova.lhota@tiscali.cz

2 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

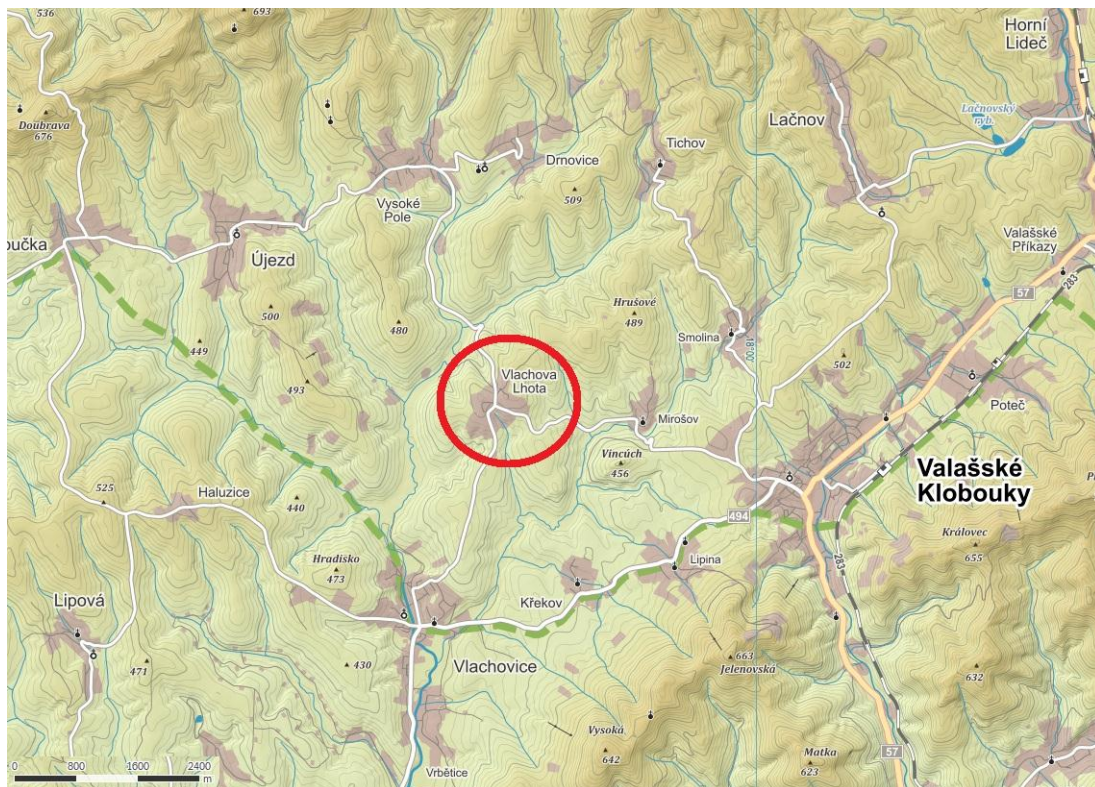
Obec Vlachova Lhota spolu s dalšími 7 obcemi (Drnovice, Loučka, Tichov, Újezd, Valašské Klobouky, Vlachovice, Vysoké Pole) tvoří mikroregion Ploština. Mikroregion Ploština je součástí NUTS II Střední Morava, Zlínského kraje, okresu Zlín. Leží na hranicích okresu Zlín a Vsetín, sousedí s mikroregionem Hornolidečsko.

Přirozeným spádovým a administrativním centrem mikroregionu je město Valašské Klobouky, které má statut obce s rozšířenou působností. Mikroregion Ploština je typickým venkovským mikroregionem s počtem obyvatel 10 219 a rozlohou 100 km².

Část území mikroregionu Ploština spadá do CHKO Bílé Karpaty. V oblasti je řada maloplošných chráněných území. Celá oblast je důležitou součástí ÚSES - nadregionálních a regionálních biocenter a biokoridorů [5].



Obrázek 1 - Mapa Zlínského kraje [převzato z 4]



Obrázek 2 - Oblast mikroregionu Ploština

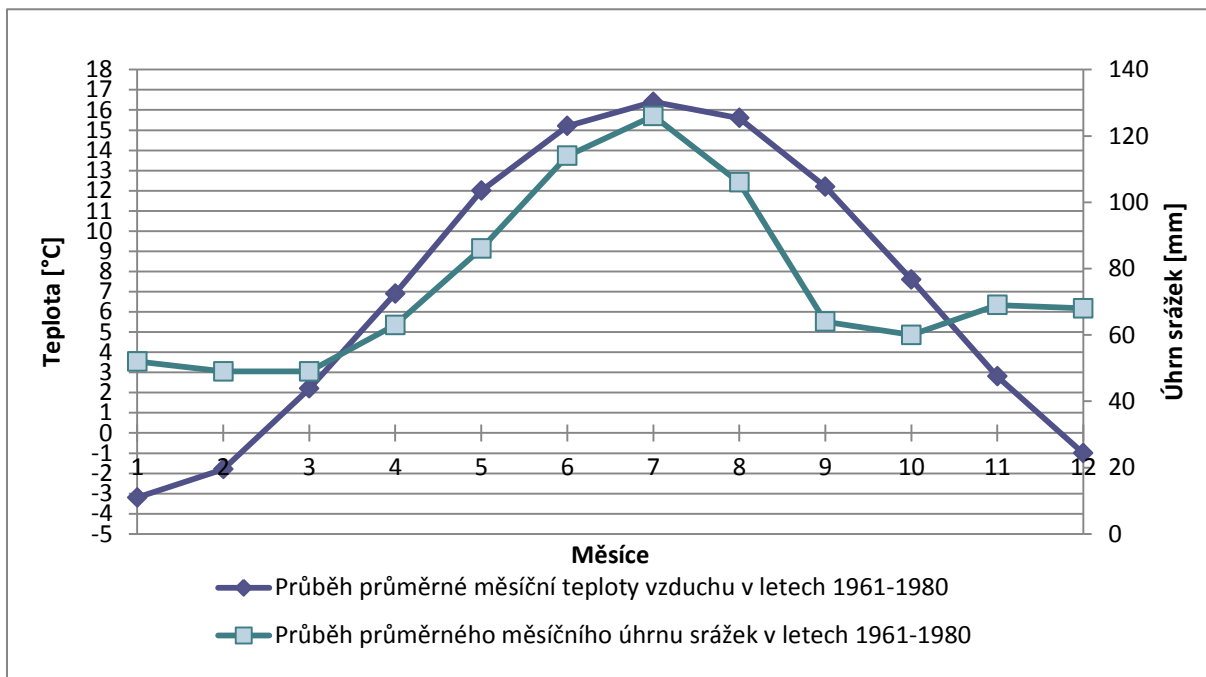
2.1 Geomorfologie území

Celé území mikroregion Ploština, do kterého obec Vlachova Lhota spolu s dalšími sedmi obcemi spadá, je součástí flyšového pásma vnějšího karpatského oblouku. Je tvořeno magurským příkrovem, který je rozdělen na tři dílčí jednotky: bělokarpatsko-oravskou, bystrickou a račanskou. Reliéf mikroregionu je tvořen Bílými Karpaty a Vizovickou vrchovinou. Pro Bílé Karpaty, které se poněkud odlišují od Vizovické vrchoviny, jsou typičtější masivní ploché hřbety s mírně členitými svahy. Na utváření reliéfu se zde výrazně projeví blízkost Váhu.

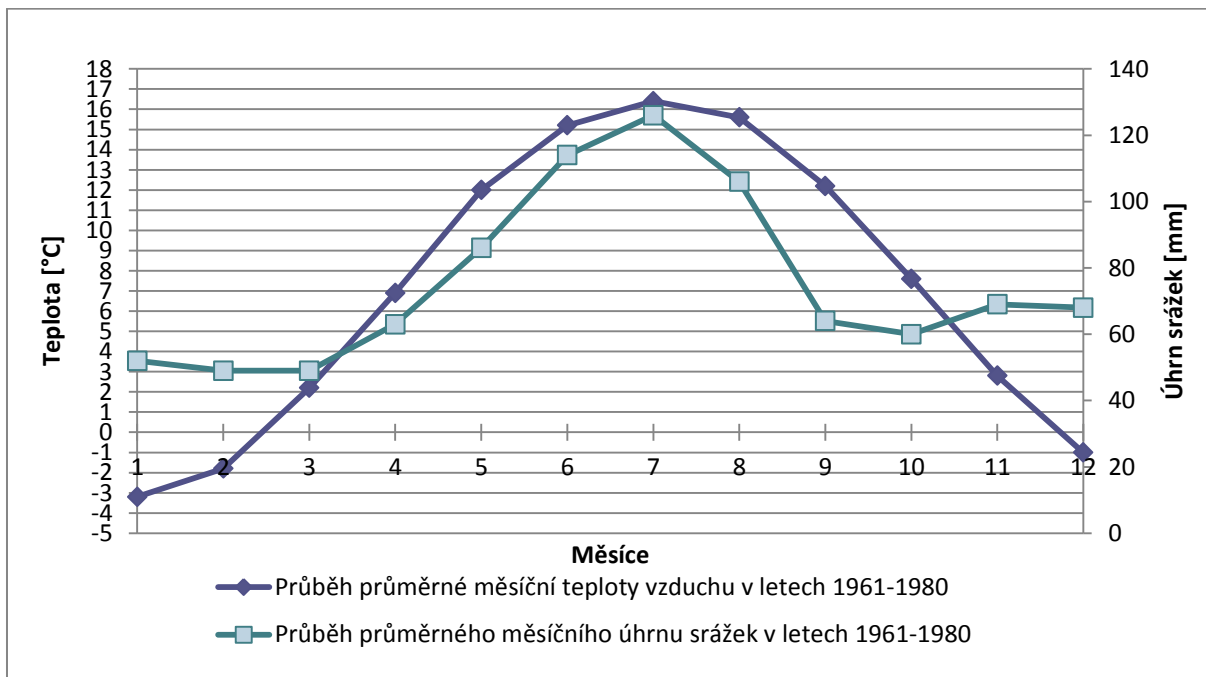
Nejrozšířenějším půdním typem jsou zde hnědozemě. V Bílých Karpatech, kde se častěji vyskytuje vápnité podloží, se nachází též vápnatá hnědozem. Kolem svahových pramenišť, kde jsou půdy trvale ovlivňovány spodní vodou, vznikají glejové půdy. Na některých prameništích, tam kde horniny obsahují větší množství kalcitového tmelu, je z vody vylučován vápenec, který tvoří usazeniny vápenného tufu – travertinu. Na travertinových usazeninách vzniká půdní typ nazývaný pararendzina. Ve vyšších polohách se nachází suťové a kamenité půdy, kde se humózní horizont vytvořil přímo na mateřské půdotvorné hornině [5].

2.2 Klimatické podmínky

Území spadá do mírně chladné oblasti, která je charakterizována 10 až 30 letními dny, 140 až 160 mrazivými dny, průměrnými teplotami v červenci 15 až 16 °C, v lednu mezi -3 až -4 °C a průměrnými ročními srážkami 850 až 1000 mm [5]. Na grafu (



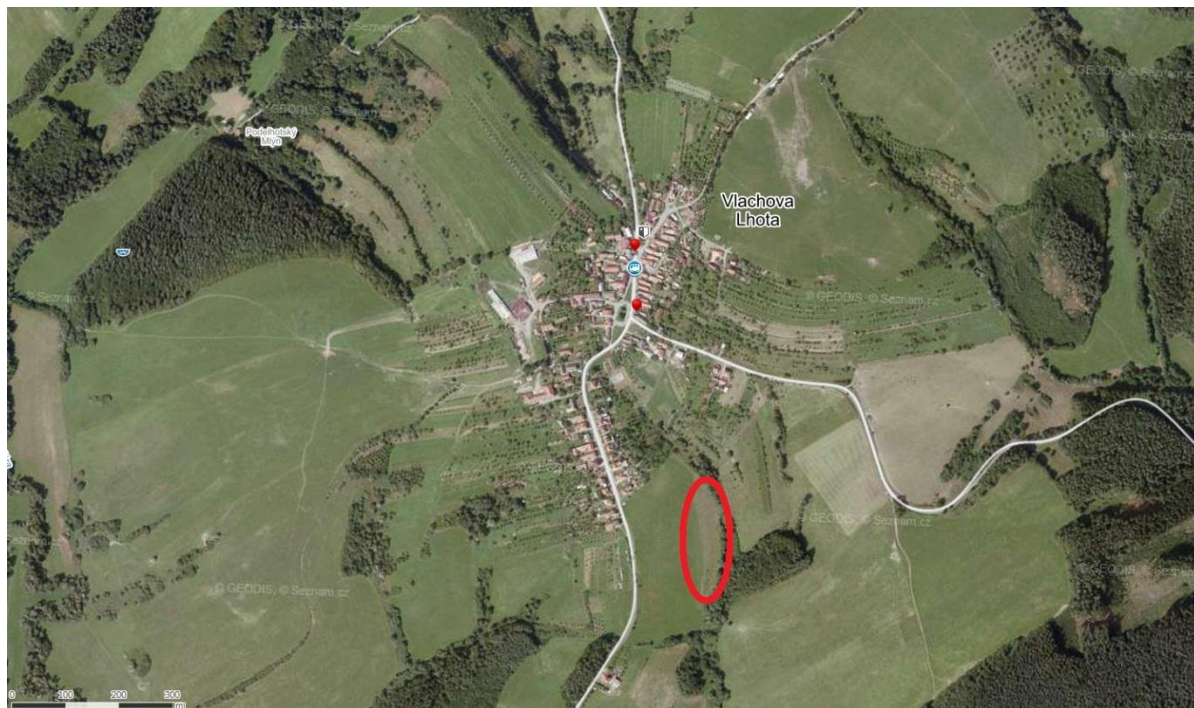
Obrázek 3) je možné vidět roční průběh průměrné teploty a průměrné množství úhrnu srážek přímo v obci Vlachova Lhota v letech 1961-1980 [3].



Obrázek 3 - Průběh průměrné měsíční teploty vzduchu a průměrného měsíčního úhrnu srážek v letech 1961-1980 v obci Vlachova Lhota, 452 m.n.m.

3 PODKLADY PRO NÁVRH ČOV

Dle územního plánu pro obec Vlachova Lhota je pro čistírnu odpadních vod vymezena oblast v jižní části obce na pravém břehu pravostranného přítoku potoka Smolinka [6].



Obrázek 4 - Vlachova Lhota, letecký snímek



Obrázek 5 - Lokalita ČOV Vlachova Lhota, základní mapa a letecký snímek

3.1 Stručná charakteristika řešeného území

Vlachova Lhota je velmi malá obec, která se nachází asi 4 kilometry severozápadně od města Valašské Klobouky. Leží na rozhraní Vizovické vrchoviny a Bílých Karpat. Obcí prochází silnice III/4942 Vysoká Pole – Valašské Klobouky a silnice III.tř. Vlachova Lhota – Vlachovice. Na katastrálním území pramení bezejmenný pravostranný přítok potoka Smolinka. Dle podkladů KÚ Zlín bylo evidováno v roce 2007 v obci 233 trvale žijících obyvatel. V roce 2015 bylo evidováno 244 trvale žijících obyvatel [1]. Průměrná nadmořská výška zástavby se pohybuje v rozmezí 430 – 465 m.n.m.

3.2 Stávající stav kanalizační sítě

Jednotná kanalizační síť ve správě obce pokrývá převážnou část zastavěného území obce. Dešťové vody i splaškové OV jsou do kanalizace zaústěny po předčištění v septicích, ale i bez předchozího čištění. Páteční stoka je vyústěna do bezejmenného potoka, pravostranného přítoku potoka Smolinka. Zbývající kanalizace jsou vyústěny volně do terénu pod zastavěným územím obce.

Kanalizační síť v zastavěné části je v dobrém stavu. Hlavní sběrač DN 500 (pod požární nádrží) je však v poměrně špatné technické kondici. Část levostranné přípojné stoky DN 300 bude rovněž nutno rekonstruovat. Areál bývalého zemědělského výrobního podniku je odkanalizován vlastním kanalizačním systémem s jímkami na vyvážení [6].

Údaje o kanalizaci:

- Délka kanalizace je cca 2520 m DN 300 – 500
- 65% obyvatel je napojeno na veřejnou kanalizaci

3.3 Výhledový stav kanalizační sítě

Podstatná část kanalizační sítě bude využita. Vymezené stoky se zrekonstruují a spádově odkloněná severní část obce se doplní o splaškové úseky. Stávající úsek se odlehčí a zaústí do čerpací stanice. Splaškové, resp. ředěné OV, se přečerpají do hlavní sítě, která je jižně pod obcí ukončena v mechanicko-biologické ČOV. Dešťové vody budou v maximální míře jímány u jednotlivých nemovitostí. ČOV bude dimenzována pro 250 EO [6]. Areál bývalé farmy zemědělského družstva bude i nadále ve výhledu odkanalizován vlastním kanalizačním systémem s jímkami na vyvážení.

Orientační výměry:

- Jednotná kanalizace DN 400 – 500, délka cca 540 m
- Splašková kanalizace DN 250 – 300, délka cca 710 m
- Čerpací stanice, výtlak DN 100, délka cca 200 m
- Rekonstrukce DN 300 – 500, délka cca 310 m
- Plocha navrhované KČOV 4300 m²

3.4 Jakost odpadní vody a nakládání s odpadní vodou

Každý návrh čistírny odpadních vod vždy vyžaduje analýzu jakosti odpadních vod. Jakost odpadní vody je vyjádřena množstvím odpadní vody a fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Znalost jakosti odpadní vody umožňuje při návrhu čistírny odpadních vod zvolit nejvhodnější kombinaci technologií sloužících k její úpravě. Vhodně zvolená a správně navržená technologie čistírny odpadních vod je schopna s minimálními provozními náklady a minimálním vlivem na životní prostředí plnit emisní limity vypouštěné odpadní vody.

3.5 Produkce odpadních vod

Počet ekvivalentních obyvatel jsem navrhl na základě územního plánu obce, který počítá s ČOV pro 250 EO. Výpočet EO se vyčísľuje jako podíl celkového a specifického znečištění vyjádřený v BSK₅ produkovaných za den. Pro výpočet se používá hodnota specifické produkce znečištění jednoho obyvatele za den, tedy 60 g/den. Tato hodnota specifické produkce je hodnotou maximální, dosahovanou v sídlech s vyšší vybaveností. Zvolená hodnota 250 EO je tedy dostačující i pro budoucí rozvoj obce.

Balastní vody zanedbávám z důvodu netradiční polohy obce na vrcholu horského hřebene, kde předpokládám nízkou hladinu podzemní vody. Druhým důvodem proč nezahrnuji balastní vody je renovace stávající kanalizace, výstavba úseků oddílné kanalizace a čerpání odpadní vody pouze ze splaškové kanalizace ze severní části obce.

Tabulka 1 - vstupní hodnoty pro výpočet množství přítékajících odpadních vod

EO=	250	ob.	počet ekvivalentních obyvatel
q _{spec} =	120	l/ob/den	specifická produkce odpadních vod
k _d =	1,5	-	součinitel denní nerovnoměrnosti ČSN 75 6401
k _h =	5,5	-	součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti, (viz. Tabulka 2)
Bal. vody	10	%	procentuální množství balastních vod

Tabulka 2 - Součinitelé maximální hodinové nerovnoměrnosti k_h, ČSN 75 6401

Počet připojených obyvatel	30	40	50	75	100	300	400	500
Součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti k_h	7,2	6,9	9,7	6,3	5,9	4,4	3,5	2,6

$$Q_{24,m} = EO \times q_{spec} = 250 \times 120 = 30\,000 \text{ l/den} \quad (1)$$

$$Q_{24} = Q_{24,m} + Q_B = 30\,000 + 0 = 30\,000 \text{ l/den} \quad (2)$$

$$Q_d = Q_{24} \times k_d = 30\,000 \times 1,5 = 45\,000 \text{ l/den} \quad (3)$$

$$Q_h = (Q_{24,m} \times k_d \times k_h + Q_B) \div 24 = 30\,000 \times 1,5 \times 5,5 + 0 \div 24 = 10\,313 \text{ l/hod} \quad (4)$$

Tabulka 3 - Produkce odpadních vod obce Vlachova Lhota

$Q_{24,o} =$	33	m ³ /d	33000	l/d	0,382	l/s
$Q_{d,o} =$	48	m ³ /d	48000	l/d	0,556	l/s
$Q_{h,o} =$	11,1	m ³ /h	11125	l/h	3,090	l/s

3.6 Složení znečištěných odpadních vod

Na řešené lokalitě nebyla provedena měření koncentrace znečištění z důvodu finanční nákladnosti. Při výpočtu koncentrace znečištění odpadních vod vycházím z hodnot produkce specifického znečištění na 1 obyvatele v g/d, dle tabulky č. 3 z ČSN 75 6401 (viz. Tabulka 4). Celková roční produkce znečištění je vypočtena jako násobek hodnoty specifické produkce znečištění a 365 dní v roce (viz. Tabulka 6).

Tabulka 4 - Orientační hodnoty produkce specifického znečištění na 1 obyvatele (populační ekvivalent) v g/d

Látky	Ukazatele specifického znečištění						
	Látky			Ostatní			
	Minerální	Organické	Celkem	BSK ₅	CHSK	N _{CELK}	P _{CELK}
Nerozpuštěné:							
a) usaditelné	10	30	40	20	40	1	0,2
b) neusaditelné	5	10	15	10	20	-	-
Rozpuštěné	75	50	125	30	60	10	2,3
Celkem	90	90	180	60	120	11	2,5

Tabulka 5 - koncentrace znečištění na přítoku na ČOV

	BSK ₅	CHSK	NL	N _{CELK}	P _{CELK}
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
$Q_{24,o} =$	455	909	455	83	19
$Q_{d,o} =$	313	625	313	57	13
$Q_{h,o} =$	56	112	56	10	2

Tabulka 6 - Roční produkce znečištění v obci Vlachova Lhota v (kg/rok)

	kg/rok
BSK ₅	5475
CHSK	10950
NL	4563
N _{CELK}	1004
P _{CELK}	228

3.7 Jakost vypouštěných odpadních vod

Při volbě technologie čištění odpadní vody jsem se řídil emisními standardy dle N.V. č. 23/2011 Sb. v aktuálním znění (viz. Tabulka 7).

Tabulka 7 – část tabulky 1 a): Emisní standardy přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l, přílohy č. 1, nařízení vlády č. 23/2011 Sb.

kategorie ČOV (EO)	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL	
	p	m	p	m	p	m
<500	150	220	40	80	50	80

3.8 Způsob čištění OV

Čištění odpadních vod bude probíhat na mechanicko-biologické ČOV. Čištění odpadních vod bude probíhat ve třech stupních.

Prvním stupněm je mechanické předčištění. Přítok do prvního stupně čištění bude z odlehčovací komory potrubím o DN 500 na hrubé ručně stírané česle sloužící k odstranění hrubých nečistot. Za česlemi je navržen horizontální lapák písku, snižující množství nerozpuštěných látek do velikosti 0,2 mm. Za lapákem jsou navrženy tříkomorové septiky pro důkladné vyčištění odpadní vody od nerozpuštěných látek nežádoucích v biologické části ČOV. V septicích dochází díky rozkladným anaerobním procesům ke snížení koncentrace CHSK. Ze septiků je odpadní voda přiváděna do biologické části ČOV.

Biologickou část ČOV tvoří zemní vertikálně skrácený filtr. Mechanicky vyčištěná odpadní voda je pomocí rozdělovacích šachet a distribučního potrubí rovnoměrně rozváděna na povrch zemních filtrů. Povrch zemních filtrů je záměrně osazen mokřadními rostlinami, které vytvářejí vhodné prostředí pro průběh biologického čištění odpadní vody. Kořenový systém rostlin přispívá k tvorbě vhodného prostředí pro život bakterií čistících odpadní vodu. Bakterie žijící v zemních filtrech snižují koncentraci BSK, zajišťují nitrifikaci a tím rozkládají amoniakální znečištění. Nadzemní část rostlin navíc vytváří kryt samotného zemního filtru.

Tím chrání filtr před extrémními vlivy počasí, které by jinak snižovaly účinnost čištění odpadní vody (Rozkošný a kol., 2014).

Za biologické čištění odpadní vody je zařazeno terciální dočištění za účelem snížení koncentrace fosforu v odpadních vodách. Terciální stupeň čištění se skládá z jednotky srážení fosforu a biologické nádrže. Fosfor je srážen 41% roztokem síranu železitého a následně je promícháván za vzniku vloček z vysráženého fosforu. Vysrážené vločky jsou sedimentovány v nátokové části biologické nádrže. Sediment vloček z nádrže je odkalován kalovým čerpadlem do kalového pole. Druhá část biologické nádrže je osázena plovoucími ostrovy s vegetací. Tato část biologické nádrže slouží k finálnímu dočištění odpadní vody od dusičnanů a síranů.

Vyčištěná odpadní voda je z biologické nádrže vypouštěna přes měrný objekt do pravostranného přítoku potoka Smolinka.

3.9 Zpracování odpadních produktů čištění odpadních vod

Čistírna odpadních vod přijímá komunální odpad produkovaný obcí Vlachova Lhota. Zacházení s odpady je upraveno státem pomocí Zákona o odpadech č. 185/2001 Sb. v aktuálním znění. Povinností provozovatele je jednotlivé odpady kategorizovat do katalogu odpadů dle vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 381/2001 Sb. v aktuálním znění.

Odpady produkované na KČOV:

- 19 02 06 – Kaly z fyzikálně-chemického zpracování neuvedené pod číslem 19 02 05 – kaly z chemického srážení fosforu síranem železitým
- 19 06 04 – Produkty vyhnívání z anaerobního zpracování komunálního odpadu – obsah kalového pole s mokřadními rostlinami
- 19 08 01 – shrabky z česlí
- 19 08 02 – odpady z lapáku písku
- 19 08 99 – Odpady jinak blíže neurčené – vegetace zemních filtrů

Shrabky z česlí budou vysoušeny na síti česlí a ukládány v přistaveném kontejneru o objemu 1100 l. Odpady z lapáku písku budou vysoušeny na přidružené sušící ploše u lapáku písku a ukládány v přistaveném kontejneru objemu 1100 l. Shrabky z česlí i odpady z lapáku písku budou vyváženy na skládku. Frekvence svozu bude záležet na produkci odpadu. Dle

předběžného výpočtu množství odpadu produkovaného z česlí a lapáku písku bude kontejner vyvážen 2x ročně (Příloha 1-(2.3 - číslo výpočtu ve výpočtové příloze).

Kalové pole septiku je navrženo na životnost 15 let. Výsledný anaerobně stabilizovaný kal bude odtěžen a prodán na zpracování do kompostárny. Vzhledem k pravděpodobnému vývoji zvyšující se poptávky po zdroji fosforu může být s kalem naloženo jinak[7].

Kalové pole určené pro kal ze srážení fosforu je také navrženo na životnost 15 let. Výsledný anaerobně stabilizovaný kal bude odtěžen a prodán na zpracování do kompostárny. Vzhledem k pravděpodobnému vývoji zvyšující se poptávky po zdroji fosforu může být s kalem naloženo jinak[7].

Vegetace zemního filtru bude po sklizení z povrchu zemního filtru uložena do kompostéru. Obsah kompostéru bude vyvezen do kompostárny ke zpracování.

3.10 Vyústění OV z KČOV

Upravená odpadní voda je vyústěna do bezejmenného pravostranného přítoku Smolinky. Jedná se o tok vhodný pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a spadá do vod lososových, dle přílohy č. 1 k nařízení vlády č. 71/2003 Sb.

3.10.1 Bezejmenný pravostranný přítok Smolinky

ID vodního toku v CEVT: 10 191 978

Délka toku: 1,291 km

Správce toku: Povodí Moravy Brno s.p., závod střední Morava, provoz Uherské Hradiště

Ochranné pásmo: Oboustranné manipulační pruhy v šíři 6 m od břehové čáry

3.10.2 Smolinka

Levostranný přítok Vlárý.

ID vodního toku v CEVT: 10 186 143

Délka toku: 15,873 km

Správce toku: Povodí Moravy Brno s.p., závod střední Morava, provoz Uherské Hradiště

4 TECHNOLOGICKÉ OBJEKTY ČOV VLACHOVA LHOTA

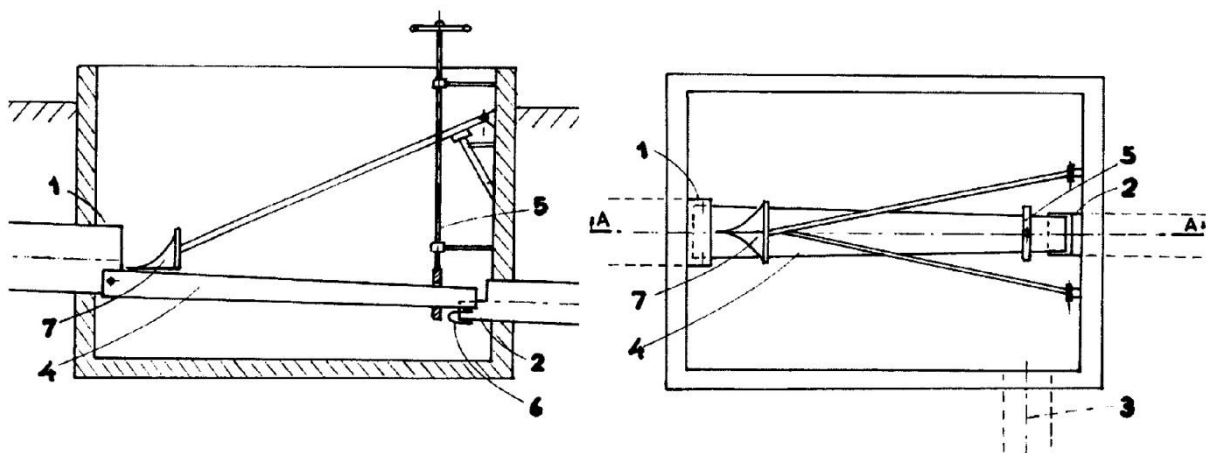
4.1 Odlehčovací komora a dešťová zdrž

Kanalizační řad přivádějící odpadní vody z obce Vlachova Lhota bude přiveden do odlehčovací komory. Odlehčovací komora bude zajišťovat oddělení průtoku vyššího, než na který je navržena čistírna odpadních vod. Extrémní průtoky nastávají při svádění dešťové vody kanalizací na čistírnu.

Oddělený dešťový průtok bude odváděn do dešťové nádrže. Účelem dešťové nádrže je snížení nebo zamezení odnosu znečištění dešťovými vodami nebo zředěnými odpadními vodami do vodních recipientů využitím sedimentačních procesů, zmírnění přívalové vlny zředěných odpadních vod retencí před jejich vyrovnaným odváděním stokovou sítí do čistírny odpadních vod a zmírnění přívalové vlny dešťových vod retencí před jejich zaústěním do vodního recipientu ČSN 75 6261.

Samotný návrh odlehčovací komory a dešťové nádrže vyžaduje podrobnou studii odtokových poměrů z povodí a znalost hydraulických poměrů na stokové síti. Provedení takovéto studie by svým rozsahem mohlo obsáhnout druhou diplomovou práci. Vzhledem k neodmyslitelné vazbě mezi čistírnou odpadních vod a objektem odlehčovací komory s dešťovou nádrží vymezují plochy pro tyto objekty.

Pro odlehčovací komoru jsem vybral systém patentovaný Vysokým učením technickým v Brně a vytvořený Ing. Michalem Kříškou Dunajským, Ph.D. Systém je znám jako užitný vzor č. 24924 (Obrázek 6). Tento systém odlehčovací komory volím na základě dobrých provozních zkušeností na kořenové čistírně v Dražovicích. Odlehčovací komora bude vytvořena z PP stěnových prvků (1000/1000/80), půdorysné rozměry odlehčovací komory odhaduji 2x2 m. Pro dešťovou nádrž odhaduji odborným odhadem plochu 300 m² na základě příkladů návrhu dešťových nádrží z přílohy B normy ČSN 75 6261 Dešťové nádrže.



Obrázek 6 - Schéma odlehčovací komory. 1 – přítokové potrubí, 2 – odtokové potrubí, 3 – odlehčovací potrubí, 4 – zužující se přepadový žlab, 5 – zvedací zařízení, 6 – pružný těsnící pás, 7 – rozhrnovací radlice

4.2 Objekty předčištění

Kvalitně navržené a správně provozované objekty předčištění jsou u vegetačních kořenových čistíren základem úspěchu při čištění odpadních vod. Velkým problémem při provozu vegetačních zemních filtrů je jev kolmatace. Kolmatace, nebo také zanášení, je jev vznikající v důsledku nadměrného zatížení filtrační vrstvy usaditelným materiálem. Zanášení pak vede k výraznému snížení propustnosti materiálu a čistící účinnosti. U vertikálních filtrů se s kolmatací setkáváme daleko častěji než u filtrů horizontálních (Křiška, 2014).

4.2.1 Ručně stírané jemné česle

Ručně stírané česle budou sloužit k odstraňování nečistot o průměru větším jak 15mm. Při návrhu jemných česlí jsem se řídil normou ČSN 75 6401 a knihou Čištění odpadních vod (Hlavínek a kol., 1996). Konstrukci jemných česlí jsem osadil do jednoho sdruženého objektu společně s lapákem písku. Přítok na česle je z potrubí DN 110. Konstrukce česlí je navržena na základě produktu firmy Fontana a.s. – česle ručně stírané. Vzdálenost průlin na česlích je 15 mm. Rychlost vody v česlích se pohybuje v normou daném rozmezí 0,6 – 1 m/s při návrhovém průtoku. Sklon česlic je 45°. Česle budou čištěny obsluhou čistírny pomocí hrabla dodaného k česlím. Čerstvé shrabky z česlí budou ukládány do žlabu s děrovaným dnem k jejich odvodnění. Odvodněné shrabky budou ukládány do přistaveného kontejneru. Česle budou objednány na zakázku společně s hrablem na ruční shrabování shrabků.

Tabulka 8 - Charakteristiky česlí a hodnoty návrhových veličin

$B_{prút.}$	0,25	m	průtočná šířka česlí
B	0,33	m	celková šířka česlí
i	0,1	-	sklon žlabu česlí
$v_{pr.}$	0,74	m/s	rychlost na česlích při Q_p
$v_{max.}$	1,37	m/s	rychlost na česlích při Q_h
h_c	0,000	m	hydraulická ztráta za česlemi

4.2.2 Horizontální lapák písku

Lapák písku jsem navrhnul pro odstranění jemných suspendovatelných částic o rozměrech 15-0,2 mm. Důvodem navržení lapáku písku je ochrana rozvodného potrubí a šachet před zanášením, které by mohlo způsobit nerovnoměrnou distribuci odpadní vody na jednotlivé septiky. Při návrhu jsem se řídil normami ČSN 75 6401 Čistírny odpadních vod pro více než 500 ekvivalentních obyvatel a ČSN 75 6402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Pro podélný (horizontální) lapák písku norma požaduje rychlost vody do 0,3 m/s, střední dobu zdržení při maximálním průtoku delší jak 30 sekund a hydraulické zatížení plochy menší jak $16 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hod.}$ Charakteristiky lapáku písku uvádím v

Tabulka 9. Po spočtení rychlosti sedimentace idealizovaného zrnka písku jsem se rozhodl snížit dobu zdržení při maximálním průtoku na 22,7 sekundy, protože rychlost sedimentace částice (5) od hladiny po dno trvá 12,7 sekundy. Snížení zdržení v lapáku písku snižuje riziko anaerobního rozkladu odpadních látek ve vodě a tím i nežádoucího zápachu. Rychlost proudění v lapáku písku i hydraulické zatížení jsem dodržel. Srovnání návrhových požadavků a poměrů v lapáku písku uvádím v

Tabulka 10. Při návrhu objemu kalového prostoru jsem uvažoval maximální hodnoty specifické produkce písku jedním obyvatelem z Čištění odpadních vod, tabulka 3.1 (Hlavínek. 1996), viz. Ve výpočtu rychlosti sedimentace kule částice je:

d – průměr sedimentovaného zrna

ρ_s – hustota částice

ρ – hustota vody

g – tíhové zrychlení

μ – kinematická viskozita vody při teplotě 20°C

Tabulka 11. Frekvence vytěžení kalového prostoru bude 7 dní. Těžba kalu bude zajištěna obsluhou čistírny pomocí lopaty. Vytěžený kal bude odkládán na odvodňovací plochu u lapáku písku. Odvodněný kal bude nakládán do kontejneru.

Tabulka 9 - Charakteristiky lapáku písku

B	0,3	m	šířka žlabu LP
L	5	m	délka žlabu LP
i	0,001	-	sklon dna LP
$V_{kal.}$	0,0245	m^3	objem kalového prostoru

Tabulka 10 - Skutečné hodnoty hydraulického plošného zatížení, rychlosti průtoku ve žlabu a doby zdržení v lapáku písku

Hydraulické plošné zatížení (m³/m²*hod), požadavek dle ČSN 75 6401: <16

v=	10,6	m ³ /m ² *hod ⁻¹	hydraulické plošné zatížení
----	------	---	-----------------------------

Rychlost průtoku ve žlabu (m/s), požadavek dle ČSN 75 6401: <0,3 m/s

Q ₂₄	0,12	m/s	Rychlost ve žlabu při průtocích
Q _{max}	0,22	m/s	Rychlost ve žlabu při průtocích

Doba zdržení v lapáku písku (s), požadavek dle ČSN 75 6401: >30 sec.

Θ _{Q24} =	41	s	doba zdržení
Θ _{Qmax} =	23	s	doba zdržení

$$u_{\zeta} = \frac{d^2 \times (\rho_{\zeta} - \rho) \times g}{18 \times \mu} = \frac{0,0002^2 \times (2,6 - 1) \times 9,81}{18 \times 1,06 \cdot 10^{-6}} = 32,91 \frac{mm}{s} \quad (5)$$

Ve výpočtu rychlosti sedimentace kule částice je:

d – průměr sedimentovaného zrna

ρ_ζ – hustota částice

ρ – hustota vody

g – tíhové zrychlení

μ - kinematická viskozita vody při teplotě 20°C

Tabulka 11 - Specifická produkce písku na jednoho obyvatele za den na jednotné kanalizaci (Hlavínek, 1996)

Jednotná stoková síť

v'=	14*10 ⁻⁶	m ³ /ob.*den	při bezdeštném průtoku
v''=	0,0005	m ³ /ob.*den	během deště

Tabulka 12 - Produkce kalu v lapáku písku.

t_p - doba akumulace písku,

V' - objem kalu za dezdeštného provozu LP,

V'' – objem kalu vzniklý za dešťových událostí.

t _p =	14	dní	7	dní
V'=	0,105	m ³	0,0245	m ³
V''=	1,75	m ³	0,875	m ³

4.2.3 Tříkomorový septik

Tříkomorový septik jsem navrhnul jako finální část mechanického předčištění. Primárně slouží jako zařízení k odstranění usaditelných částic, které by mohly způsobovat kolmataci či zanášení trubních systémů. V druhé řadě septiky slouží jako zařízení schopné snížit koncentraci BSK (CHSK). Koncentrace amoniakálního dusíku je po průchodu septikem nezměněna vzhledem k nízké koncentraci kyslíku v septiku. Účinnost septiku je závislá na prostoru pro sedimentaci a na stáří kalu v septiku (USEPA, 2010).

Při návrhu septiku jsem se neřídil normou ČSN 75 6402, protože se jedná o doporučení stará 13 let a postup ověření hydraulické účinnosti septiku v této normě nebyl dosud kalibrován. Dobu zdržení jsem navrhl 5 dní. Delší doba zdržení, než je uvedeno v ČSN 75 6402 (3 dny), podpoří růst anaerobních organismů a tím i rozkladné procesy. Septik je dimenzován na maximální denní průtok. Hodnota tvorby kalu 2,16 l/ob./den je určena podle (Mrvová, 2015). Objem septiku (6) a objem kalového prostoru (7) navrhuji zvlášť. S ohledem na vstupní investici a také na výslednou velikost stavby septiků navrhuji četnost vyčerpání kalového prostoru 4 krát do roka.

$$V_{OV} = EO \times Q_p \times t_s = 250 \times 48 \times 5 = 240 \text{ m}^3 \quad (6)$$

Ve výpočtu objemu septiku je:

EO - počet ekvivalentních obyvatel (ob.)

Q_p - návrhový maximální denní průtok (m³/d)

t_s - doba zdržení odpadní vody v septiku (s)

$$V_{Kal} = EO \times q_{Kal} \times t_s = 250 \times 2,16 \times 5 = 49,7 \text{ m}^3 \quad (7)$$

Ve výpočtu objemu kalového prostoru septiku je:

EO – počet ekvivalentních obyvatel

q_{Kal} - specifická produkce kalu na 1 EO

t_s – doba zdržení odpadní vody v septiku

Vzhledem k prostorovým rozměrům jsem rozdělil objem septiku do 4 linek se třemi komorami o objemu 26,5 m³. Na každou linku bude rovnoměrně rozveden průtok odpadní vody. Komory na lince jsou propojeny potrubím DN 110. Přítok a odtok z každé komoře je v protilehlém rohu komory kvůli prodloužení dráhy průtoku komorou. Na přítoku a odtoku z každé komory osazují nornou stěnu. Norná stěna slouží k rozptýlení směru proudění a zachycení plovoucích nečistot a tuků (Křiška, 2012). Pro zjednodušení výstavby a snížení

nákladů jsem navrhnul prefabrikované pravoúhlé nádrže PNO 240/480/238/14 BZP firmy Prefa Brno a.s.

4.3 Rozdělovací šachta

Rozdělovací šachta je technologický objekt sloužící k rovnoměrnému pulznímu rozdělení odpadní vody na zemní filtr s vegetací. Odpadní voda ze septiku je přímo přiváděna do rozdělovací šachty. Samotná rozdělovací šachta je rozdělena na 4 stejné komory, které budou zásobovat 4 filtrační jednotky na jednom filtračním poli. Rozdělení přítoku v rozdělovací šachtě je zajištěno překlápěčem. Pulzní vypouštění zajišťují 4 pulzní vypouštěče známé pod obchodním názvem AS-PULZ, nebo jako užitný vzor č. 25544 (Křiška, 2013). Nastavením plováku pulzního vypouštěče lze snadno nastavit objem a tím i četnost pulzů na filtrační jednotku. Odpadní voda je vypouštěna pulzním vypouštěčem přes potrubí DN 110 na jednotlivé filtrační jednotky.

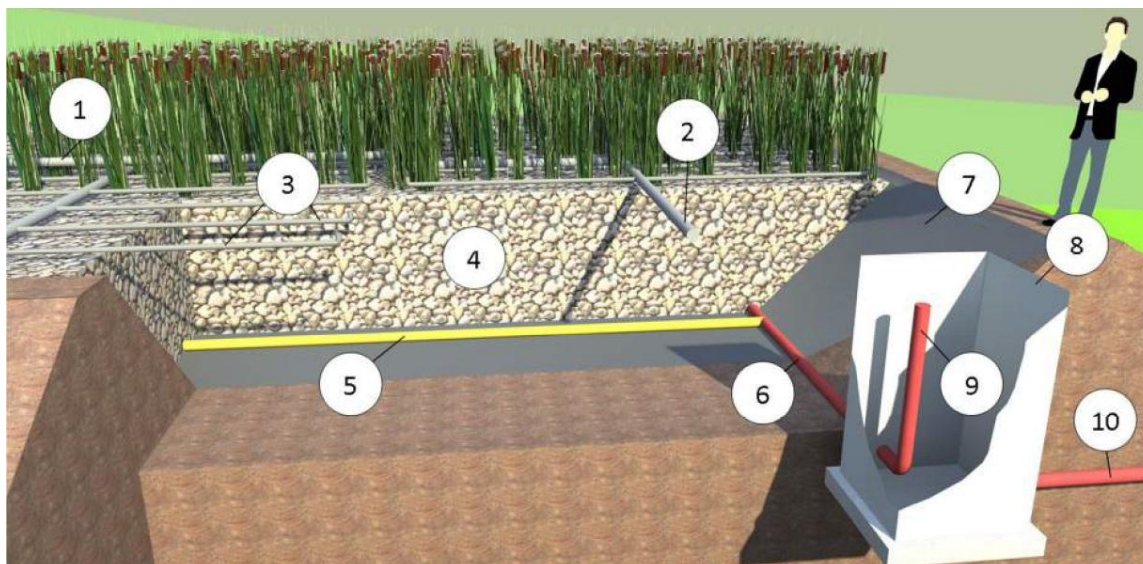
4.4 Zemní filtr s vegetací

Hlavní technologickou jednotkou ČOV Vlachova Lhota bude vertikálně protékaný, pulzně skrápěný zemní filtr s vegetací - laicky řečeno vertikální kořenová čistírna. Jedná se o zařízení velice podobné zemnímu filtru, avšak lišící se v distribuci odpadní vody a skladbě materiálu. Těleso zemního filtru slouží jako vhodné prostředí pro průběh čistících procesů. Čistící procesy se skládají z procesů fyzikálních, fyzikálně-chemických, chemických a biologických.

Fyzikální procesy spočívají ve filtraci a poutání nerozpuštěných látek v porézním filtračním prostředí a v sedimentaci. Z fyzikálně-chemických procesů se jedná především o adsorpci (Šálek, 1999). Těmito procesy jsou odstraňovány především nerozpuštěné látky a koloidní částice (Šálek a kol., 2013).

Organické látky jsou odstraňovány převážně mikrobiální aerobní i anaerobní cestou, tedy biologickými procesy (Šálek a kol., 2013). Odstranění organických látek spočívá v rozkladu dusíkatých organických látek proteolytickými bakteriemi a bakteriemi amonizačními. Nitrifikace bakteriemi nitrifikačními, případně denitrifikace bakteriemi denitrifikačními. Rozklad celulózy metanobakteriemi (za anaerobních podmínek) a mykobakteriemi (za aerobních podmínek). Rozklad tuků lipolytickými bakteriemi. Rozklad škrobů a cukrů amylolytickými bakteriemi a rozklad organických a anorganických sloučenin fosforu fosfobakteriemi (Šálek, 1999).

Chemické procesy spočívají ve srážení sloučenin a rozkladu méně stabilních látek.



Obrázek 7 Vertikální kořenový filtr. 1 – hlavní distribuční potrubí, 2 – distribuční potrubí, 3 – laterální distribuční potrubí, 4 – filtrační materiál, 5 – sběrné potrubí, 6 – hlavní sběrné potrubí, 7 – vodotěsná izolace filtru, 8 – revizní šachta, 9 – potrubí k nastavení hladiny, 10 – odtokové potrubí (převzato z Rozkošný a kol., 2014)

4.4.1 Trubní systém filtru

Distribuční potrubí je soustava plastových trub zajišťující rovnoměrné rozdělení nátoku na plochu zemního filtru. Rovnoměrné rozdělení nátoku na filtr je požadováno v normě ČSN 75 6402. Distribuční potrubí se skládá z hlavního potrubí DN 110, kterým je voda přiváděna na filtry. Na hlavní distribuční potrubí jsou ve vzdálenostech 800 mm kolmo připojeny laterální distribuční potrubí DN 40. Na laterální distribuční se ve vzdálenostech 25 mm musí vyvrtat otvory o průměru 5 mm. Těmi odpadní voda natéká na povrch filtru. Laterální distribuční potrubí je nutno ve vzdálenostech cca 2 m upevnit k podpěrám. Podpěry by měly zajistit uložení laterálního potrubí nad povrch filtru (max. 5 cm) a zabezpečení proti posunutí vlivem rostoucí vegetace či jinými (divoká zvěř, silný vítr). Na hlavní rozdělovací potrubí je nutno osadit kontrolní kus pro kontrolu a tlakové čištění zanešeného potrubí požadavek ČSN 75 6402. Odvod odpadní vody ze dna filtru je realizován sběrným potrubím. Sběrné potrubí je uloženo na dně zemního filtru souběžně s hlavním distribučním potrubím. Pod každou sérií laterálních rozvodných trub musí být osazeno jedno sběrné potrubí. Sběrné potrubí je dimenze DN 110 s příčně vytvořenými zářezy o šířce 5 mm a vzdálenosti 100 mm. Sběrné potrubí je vyvedeno v nejnižším bodě dna filtru ven ze zemního filtru. Návrh těchto dimenzí vychází z poloprovozního a nyní provozního vertikálního zemního filtru KČOV Kotenčice (Opletal, 2014).

4.4.2 Vegetační pokryv

Při volbě druhů rostlin je potřeba brát v potaz vliv na systém kořenové čistírny. Užitím rostlin se snažíme dosáhnout stabilizace povrchu filtračního pole, zvýšené poréznosti v tělese čistírny, co nejvyšší absorpce živin rostlinami ze zpracovávané vody, zabránění vzniku zkratových proudů, zvýšení evapotranspirace a příjemného estetického vzhledu (Abou-Elela a kol., 2012). Vzhledem k výše uvedeným požadavkům je nejvýhodnější zvolit rostliny, které žijí v mokřadním prostředí. Dalším kritériem výběru je velikost kořenového systému rostliny. Cílem je, aby kořenový systém zasahoval do celého objemu KČ a zajišťoval tak dobrou distribuci kyslíku. Dobré prokysličení totiž stimuluje k růstu aerobní mikroby žijící u kořenových systémů. Velikost kořenového systému navíc přímou úměrou ovlivňuje růst nadzemní části rostliny, tzn. i příjem nutrientů, které je potřeba odstranit. Vliv na výběr rostliny má i její přirozený biotop (Moshiri, 1993).

Při výběru vegetace jsem vybíral z mokřadních rostlin běžně se využívajících na kořenových čistírnách v České republice. Jednalo se o druhy:

- Rákos obecný (*Phragmites australis*)
- Orobinec širokolistý (*Typha latifolia*)
- Orobinec úzkolistý (*Typha angustifolia*)
- Zblochan vodní (*Glyceria maxima*)
- Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*)

Na základě zkušeností z provozu KČOV Kotečnice jsem zvolil jako jediný vhodný rákos obecný. Hlavním kritériem při volbě vegetace byla náročnost manipulace při sklizení vegetace před zimou. Druhotným kritériem byla schopnost rostliny rozmnožovat se a rychlost pokrytí povrchu filtru. Rákos obecný jako jediný z výše uvedených rostlin netvoří v zóně kosení (cca 5-10 cm nad povrchem filtru) husté trsy listů, což činí kosení a i následné sklizení pokoseného rákosu mnohem jednodušší. Rákos obecný je velice invazivní rostlina, což zajistí rychlé rozšíření se po povrchu filtru. Invazivní vlastnost rákosu je možno brát i jako obranu před jinými invazivními druhy rostlin. Hustotu osazení řízků rákosu na filtr jsem zvolil 6 ks/m².

Rákos obecný (*Phragmites australis*) – jedná se o nejčastěji používanou rostlinu do vegetačních kořenových čistíren vzhledem ke schopnosti mohutného růstu podzemních částí (kořenů a oddenků) až do hloubky 60-70 cm (v příznivých podmínkách až do hloubky 1,5 m). Nadzemní část dosahuje výšky až 4 m (v teplejších oblastech a s dobrou zásobou živin až do

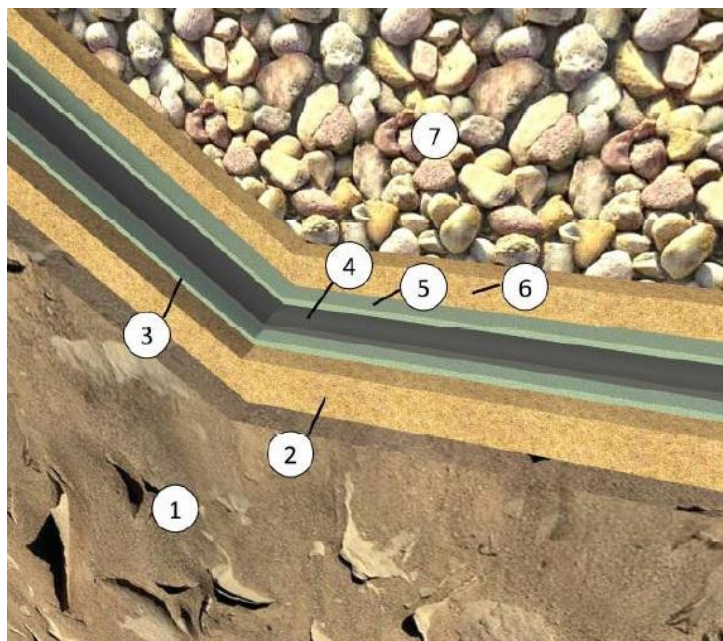
výšky 6 m). Rozmnožuje se oddenky, roste velmi rychle a je velmi invazivní. Má tendenci se rozrůstat mimo pole čistírny, může ucpávat drenáž a vytlačuje jiné druhy rostlin, pokud je s nimi kombinován (Obrázek 88)[2].



Obrázek 8 - Rákos obecný (*Phragmites australis*)

4.4.3 Náplň filtru

Těleso zemního filtru musí být od podloží vodotěsně odděleno ČSN 75 6402. Vodotěsné oddělení je realizováno hydroizolační fólií po dně zemního filtru, která je z obou stran zakryta geotextilií (Vymazal, 2004). Optimální hloubka tělesa filtru je 1 metr. Vzhledem k požadavku na rovnoměrnou distribuci vody na filtr je nutné zajistit vodorovný povrch filtru. Náplň filtru jsem rozdělil do 4 částí, abych zajistil optimální prostředí pro průběh čistících procesů. Na povrch filtru je uložena vrstva říčního štěrku frakce 4-8 mm. Říční štěrk se vyznačuje vysokou hodnotou specifického povrchu, což pozitivně ovlivní růst mladých řízků vegetace na povrchu filtru. Následuje hlavní filtrační materiál – drcený kámen frakce 2-4 mm (Rozkošný s kol., 2014). Pod vrstvou hlavního filtračního materiálu je nutné vytvořit přechodovou vrstvu frakce 4-8 , která zabrání zanesení Drenážní vrstvy a drenážního potrubí. Nejspodnější vrstvou zemního filtru je drenážní vrstva drceného kamene frakce 8-16 mm. Drenážní vrstva zabraňuje uspání drenážních drážek o šířce 5 mm. Dno filtračního lože by mělo být vyspádováno k sběrnému potrubí vedoucímu z filtračního pole. Odvedení veškeré odpadní vody zajistí lepší provzdušnění filtračního lože a tím i čistící účinnost filtru (ústně sdělelo M. Kříškou 21.12.2015).



Obrázek 9 - Hydroizolace filtru. 1 - materiál podloží, 2 – písek tl. 50 mm, 3 – geotextílie, 4 – hydroizolační fólie PVC-P, 5 – geotextílie, 6 – písek tl. 50 mm, 7 – těleso zemního filtru (převzato z Rozkošný a kol., 2014)

4.5 Terciální stupeň čištění odpadních vod

Čistírny odpadních vod v kategorii do 500 EO nemusí plnit limit v koncentraci vypouštěného celkového fosforu. Vzhledem k této skutečnosti může být návrh terciálního stupně čištění brán jako zbytečný a neekonomický. Na druhou stranu je ČOV zařízení s životností minimálně 30 let (životnost konstrukcí). Rychlý vývoj dnešní doby, trend zpříšňování emisních limitů a úroveň poznání, která nám říká, jak moc zatěžujeme životní prostředí, mě však vedou k tomu, že časem dojde na zpřísnění limitů vypouštěného znečištění. A i pokud ke zpřísnění limitů nedojde, stále je nutné jakožto projektant vkládat do svého inženýrského díla něco navíc, jako známku kvality a odkazu dnešní doby.

Druhým typem znečištění, které nařízení vlády 23/2011 v kategorii do 500 EO nesleduje je koncentrace amoniakálního dusíku a dusičnanového dusíku. Dobře navržený a správně provozovaný zemní filtr s vegetací je schopen účinně odstraňovat amoniakální dusík procesem nitrifikace (Opletal, 2014). Slabou stránkou zemního filtru s vegetací je nízká schopnost denitrifikovat. Slabá denitrifikace způsobuje nárůst koncentrace dusičnanů na výtok z ČOV.

Terciální stupeň čištění odpadních vod této práci, je v dnešní době nepotřebný hlediska legislativního a vzhledem k nákladům na provoz a stavební práce i hlediska ekonomického.

Avšak jeho realizace zajistí komplexní řešení nízkonákladového zpracování odpadních vod. Základem terciálního stupně čištění odpadních vod bude biologická nádrž s plovoucími ostrovy a objekt srážení fosforu s navazujícím kalovým polem pro vysrážený fosfor.

4.6 Chemické srážení fosforu

Biologický způsob srážení fosforu potřebuje speciální reaktorovou linku s anaerobním stupněm, což by znamenalo navýšení investice i provozních nákladů. Kromě biologického odstraňování se fosfor odstraňuje i chemicky, tj. vysrážením a separací vzniklých nerozpustných látek. Fosfor se v surové odpadní vodě vyskytuje ve formě anorganických orto-fosforečnanů $\text{PO}_4\text{-P}$, komplexních polyfosforečnanů $\text{P}_{\text{komplex}}$, a jako organicky vázaný fosfor P_{org} . Do srážecích reakcí však vstupuje fosfor pouze ve formě $\text{PO}_4\text{-P}$. Při procesu biologického úpravy odpadních vod (zemní filtr) jsou $\text{P}_{\text{komplex}}$ hydrolizovány a organické látky obsahující P_{org} oxidovány za vzniku dalších $\text{PO}_4\text{-P}$, takže v odtoku z ČOV představují orto-fosforečnany $\text{PO}_4\text{-P}$ až 80-90% (Drtil, 1993).

Orto-fosforečnany $\text{PO}_4\text{-P}$ se ve vodě vyskytují jako koloidní částice. Koloidní částice se v kapalině pohybují neuspořádaným pohybem a za běžného stavu nedochází k jejich spojování do větších celků, které by byly následně odstranitelné. Jednotlivé koloidní částice jsou obaleny elektrickou dvojvrstvou. Elektrická dvojvrstva je kvantifikována potenciálem zeta, který vyjadřuje odpudivou sílu částice působící proti shlukování. Zeta potenciál je možné překonat přidáním koagulantu, který zvýší koncentraci iontů s opačným nábojem.

Proces koagulace probíhá ve dvou fázích:

1. Perikinetická fáze – po nadávkování chemikálie dochází k reakci s koloidními látkami. Sníží se zeta-potenciál částic obsažených v odpadní vodě a dochází k jejich srážení, tj. spojování v drobné částice, kterými jsou mikrovločky a jemné vločky. Celý tento proces je prováděn formou rychlého míchání upravované vody po nadávkování koagulantu. Cílem rychlého míchání je homogenizace nadávkované chemikálie v objemu upravované vody a vložená energie usnadní sblížení koloidních částic a chemikálie a je nápomocna reakci těchto dvou komponentů. Celý tento proces probíhá v sekundách a okamžitě po nadávkování chemikálie.

2. Ortokinetická fáze – proces pomalého míchání, nebo také flokulace (vločkování). V této fázi dochází k nabalování vloček malých do větších a lépe separovatelných celků. Intenzita míchání je nízká, aby nedocházelo k rozpadu vzniklých vloček.

Jako koagulant jsem zvolil 41% koncentrát síranu železitého, také známý pod obchodním názvem Prefloc. Koagulant Prefloc jsem zvolil vzhledem k jeho účinnosti prokázané ing. Janem Follerem na poloprovozním modelu čistírny odpadních vod (Foller, 2005).

4.6.1 Technologie srážení fosforu

Srážení fosforu jsem navrhnul do jednoho kompaktního objektu. Jednotka srážení fosforu se bude skládat ze tří částí. První část se skládá z vyrovnávací komory, ve které bude osazeno zařízení pro hladinovou manipulaci AS Pulz. Objem jednoho pulzu je roven objemu vody zadržnému na 25 minut. Objem zadržení je dán požadavkem na dobu trvání fáze pomalého míchání (Tuhovčák a kol., 2006).

Dávkování srážedla bude zajištěno automatickým dávkovačem chemikálií. Dávkování koagulantu probíhá zároveň s přepouštěním odpadní vody z vyrovnávací komory. Fáze rychlého míchání bude probíhat na dvou hydraulických clonách umístěných na potrubí vedoucím z vyrovnávací komory do komory pomalého míchání. Zásobní objem koagulantu jsem vypočet z denní spotřeby koagulantu pro srážení fosforu pod koncentrací 1 mg/l a objem jsem přizpůsobil konstrukčnímu modulu PP stěnových desek, z nichž jsem navrhnul celou jednotku. Objem zásoby flokulantu vystačí teoreticky na 45 dní.

Pomalé míchání bude zajištěno mechanickým hřídelovým míchadlem. Míchadlo bude osazeno v komoře navržené se zdržením vody 25 minut. Delší doba pomalého míchání nevede k výraznému zvýšení koagulace (Tuhovčák a kol., 2006).

4.6.2 Kalová nádrž

Vysrážené vločky kalu je nutno separovat z odpadní vody za vzniku chemického kalu. K sedimentaci bude sloužit mělká nádrž rozdělená do dvou sekcí. První – nátoková sekce bude sloužit k separaci chemického kalu. Za trubním vtokem do nádrže bude umístěna ponořená konstrukce usměrňující sedimentující kal na dno kalové nádrže. Sedimentující kal bude zachycen v betonové jímce s kalovým čerpadlem pro odčerpání kalu. Druhá část nádrže bude určena k instalaci plovoucích ostrovů.

4.7 Měrný objekt

Měrný objekt jsem umístil ke korytu bezejmenného pravostranného přítoku potoka Smolinka. Měrný objekt je vytvořen z PP desek tl. 15 mm. Odpadní voda vytéká z měrného objektu přes Thompsonův přeliv. V měrném objektu je umístěn ultrazvukový hladinoměr. Objem průtoku z čistírny odpadních vod je vypočítán dosazením výšky přepadového paprsku do rovnice pro výpočet průtoku přes Thompsonův přeliv.

4.8 Kalové hospodářství

Kal ze septiků a srážení fosforu bude vyvážen na kalová pole. Kalové pole je mělká, utěsněná a odvodněná nádrž. K těsnění jsem použil PVC fólii. Drenáž je zajištěna sběrným děrovaným potrubím na dně nádrže. Sběrné potrubí je zakryto filtrační vrstvou materiálů různé zrnitosti. Svrchní část filtrační vrstvy sběrného potrubí je tvořena původní orníci, která slouží k osazení makrofyty. K vegetačnímu osetí kalového pole jsem zvolil rákos obecný. Rákos obecný jako mokřadní rostlina má vysokou schopnost transpirace, vysokou schopnost přizpůsobení se anaerobnímu prostředí, zvládá okysličovat kořenovou zónu a intenzivně využívá přítomných nutrientů k tvorbě biomasy. Při návrhu objemu kalového pole jsem počítal s limitním podílem sušiny v kalu 6%. Navržené kalové pole má dle množství vyprodukovaného kalu teoretickou dobu životnosti 15 let. Drenáž z kalového pole je vyvedena do kontrolní šachty Š0 před jemné česle.

Tabulka 13 - Vlastnosti kalového pole pro kal ze septiků

Rozměry kalového pole pro kal ze septiků			
a=	11	m	délka
b=	11	m	šířka
h=	1,60	m	hloubka
V=	249,92	m ³	objem kalového pole
nlet=	15	let	životnost

Tabulka 14 - Vlastnosti kalového pole pro vysrážený fosfor

Rozměry kalového pole pro vysrážený fosfor			
a	2		délka
b	3		šířka
h	0,8		hloubka
V=	4,8	m ³	objem kalového pole
nlet=	15	let	životnost

5 MODEL ZEMNÍHO FILTRU V PROGRAMU HYDRUS

K podložení čistící účinnosti vertikálních, pulzně skrápěných vegetačních zemních filtrů jsem použil model v programu Hydrus. Model pracuje v software HYDRUS 2D na rozšířeném modulu Wetlands Module – CW2D.

Wetlands module – CW2D byl vytvořen J. Šimůnkem, M. Šejnou a M. Th. van Genuchtenem v roce 1999 jako model popisující transport rozpuštěných látek v proměnlivých nasycených porézních prostředích (Šimůnek a kol., 1999). Program numericky řeší Richardsovu rovnici a využívá k jejímu výpočtu metodu konečných prvků, kdy simuluje dvou a tří dimenzionální pohyb vody, tepla a rozpuštěných látek (Němcová, 2015). Model CW2D byl vytvořen pro modelování biochemických přeměn a degradačních procesů v podpovrchově protékaném kořenovém filtru. Tyto transformace a procesy jsou popsány pro organické látky dusík a fosfor. Matematická struktura CW2D je založena na studii Activated sludge model (Henze a kol., 2000). Na základě odborných poznatků z Activated sludge model umožňuje CW2D sledovat celkem 12 komponentů a 9 procesů probíhajících v prostředí filtračních polí (Langergraber a Šimůnek, 2006). Biochemické složky, které je možné sledovat s využitím CW2D jsou: rozpuštěný kyslík, tři složky definující CHSK_{Cr} (CR-snadno rozložitelné, CS-pomalou rozložitelné, CI-inertní), čtyři složky sloučenin dusíku (amoniakální dusík, dusitanový dusík, dusičnanový dusík a volný dusík), heterotrofní organismy, bakterie (*Nitrosomonas* a *Nitrobacter*) a anorganický fosfor (Langergraber a Šimůnek, 2006).

Model CW2D, se kterým jsem pracoval, byl vytvořen a nakalibrován Ing. Miroslavou Němcovou v rámci její diplomové práce s názvem: Modelování biochemických pochodů ve filtračním prostředí kořenových čistíren. Data pro kalibraci modelu byla sbírána na vertikálním nasyceném kořenovém filtru provozovaném na poloprovozní výzkumné čistírně odpadních vod v Kotečicích. Nakalibrovaný model je schopen simulovat procesy snižující koncentraci CHSK_{Cr} a N-NH_4^+ s odchylkou střední hodnoty do 5% (Němcová, 2015).

5.1 Simulace v modelu CW2D pro návrh ČOV Vlachova Lhota

Do nakalibrovaného modelu vytvořeného a poskytnuté Ing. Miroslavou Němcovou jsem nastavil vstupní hodnoty a provedl simulaci. Stejně jako je tomu u aktivačních procesů, i u vegetačních zemních filtrů dochází k postupnému rozšíření mikroorganismů ve filtračním

materiálu a postupnému zvyšování účinnosti filtru. Délku simulace jsem zvolil na dobu tří let na základě pozorování provedených na kořenové čistírně odpadních vod v Kotenčicích.

Hloubka simulovaného filtru je 1,0 m. Přítok na filtr je zadán jako podíl přítoku (Q_{224} , Q_d) ku ploše všech filtračních polí. Simulace uvažuje stále nasycené prostředí v zemním filtru.

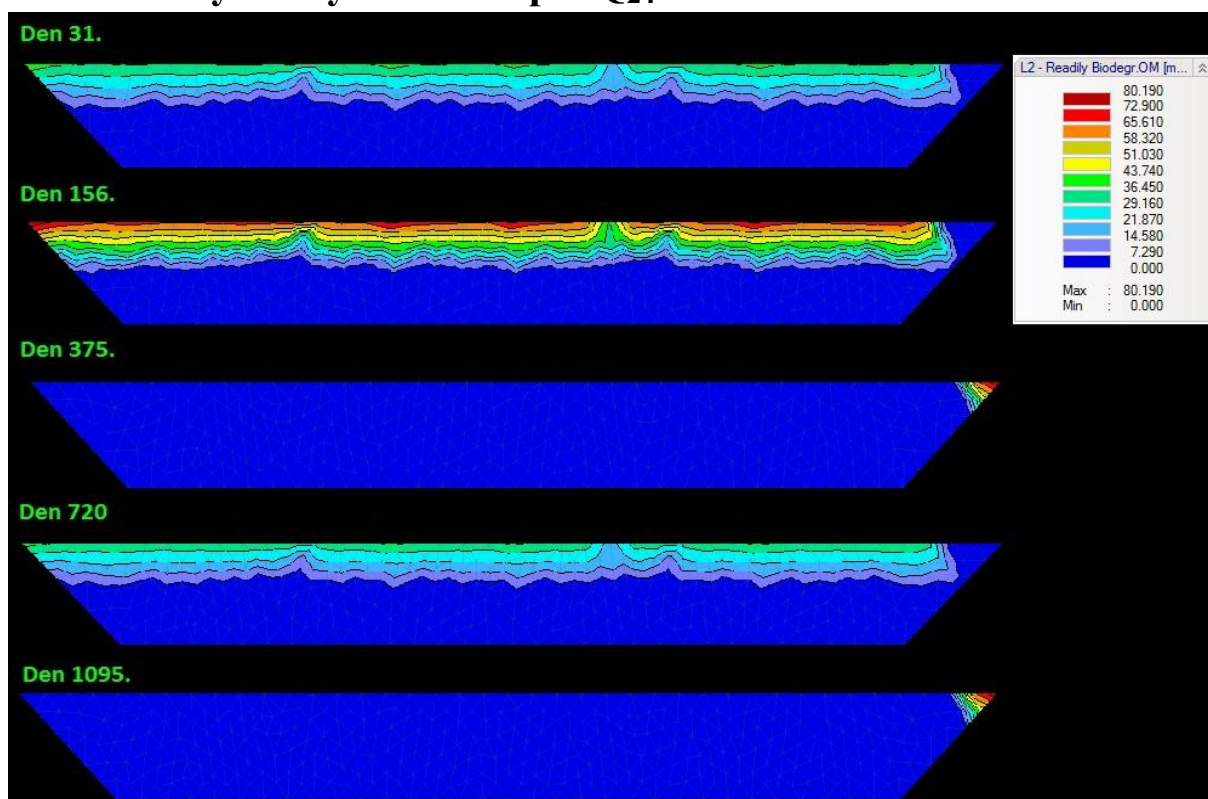
Tabulka 15 - Vstupní zatížení a koncentrace pro simulaci v modelu C2WD při Q_{24}

$Q_{24} =$	3,2	cm/d
O ₂	0,5	mg/l
CR	96	mg/l
CS	168	mg/l
Cl	48	mg/l
amoniak	22	mg/l
no-2	167	mg/l
no-3	111	mg/l
n ₂	33	mg/l

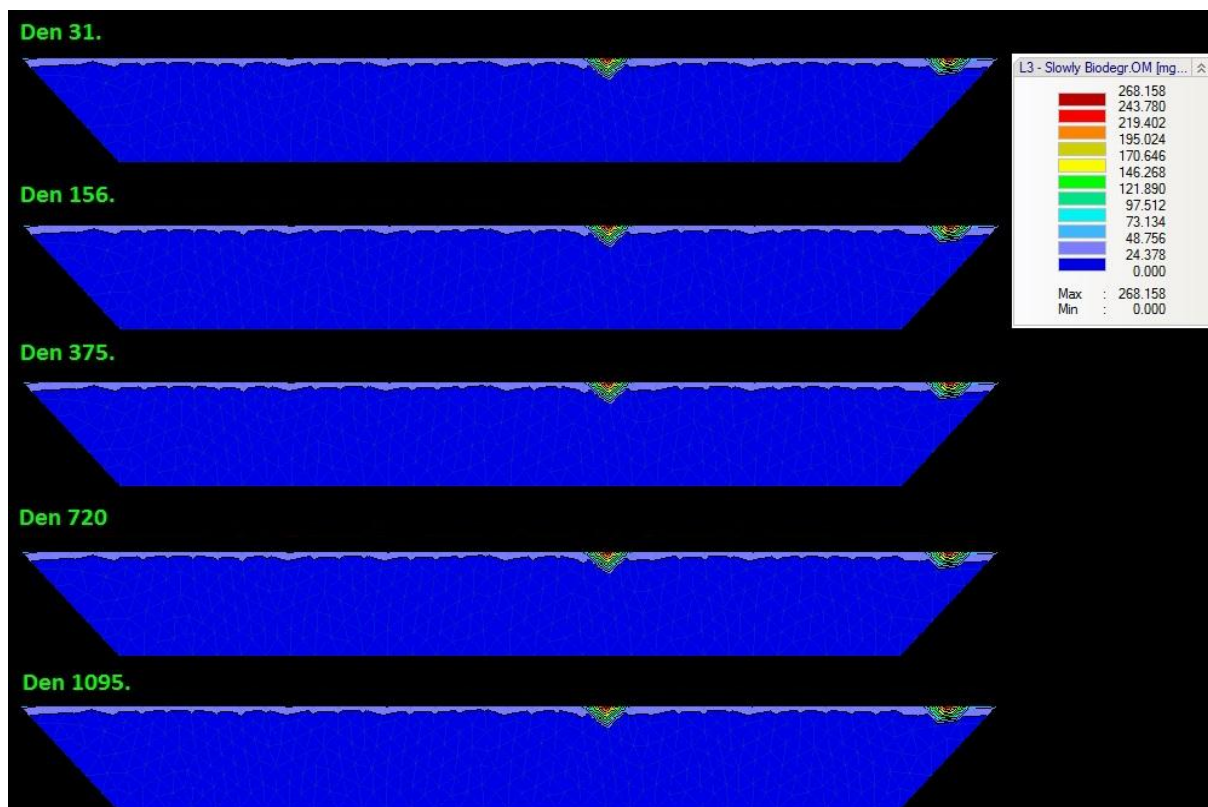
Tabulka 16 - Vstupní zatížení a koncentrace pro simulaci v modelu C2WD při Q_d

$Q_d =$	4,6	cm/d
O ₂	0,5	mg/l
CR	96	mg/l
CS	168	mg/l
Cl	48	mg/l
amoniak	15	mg/l
no-2	115	mg/l
no-3	76	mg/l
n ₂	23	mg/l

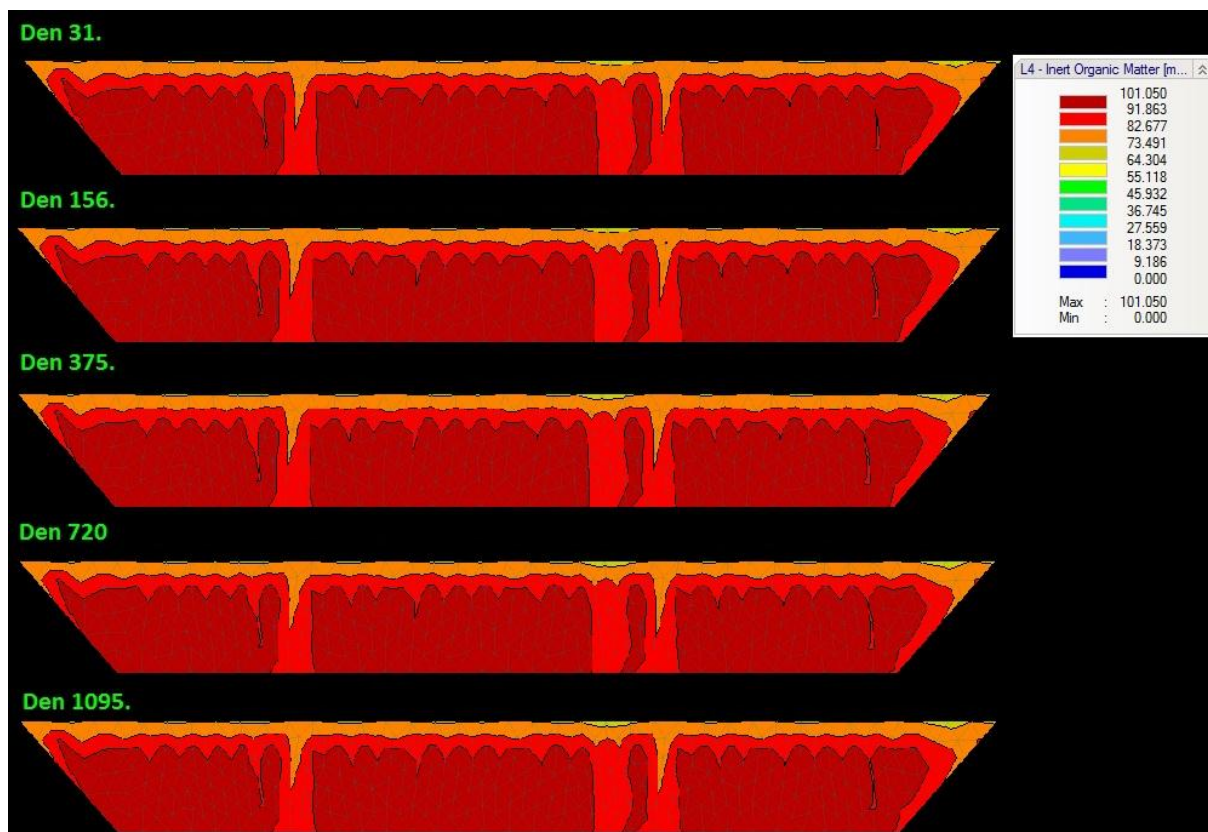
5.1.1 Výsledky simulace při Q_{24}



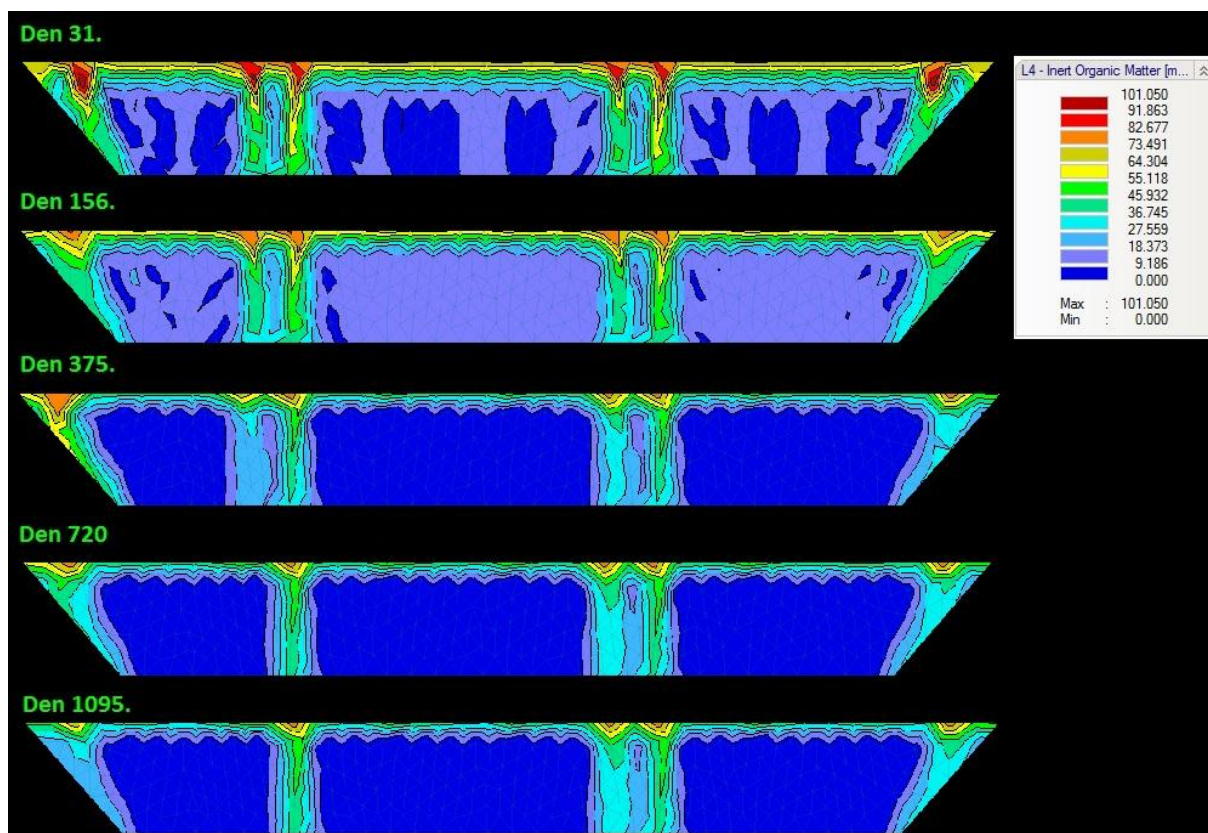
Obrázek 10 - vývoj koncentrace RC - snadno rozložitelné složky CHSK_{Cr} ve vegetačním zemním filtru při Q_{24}



Obrázek 11 - vývoj koncentrace CS pomalu rozložitelné složky CHSK_{Cr} ve vegetačním zemním filtru při Q_{24}

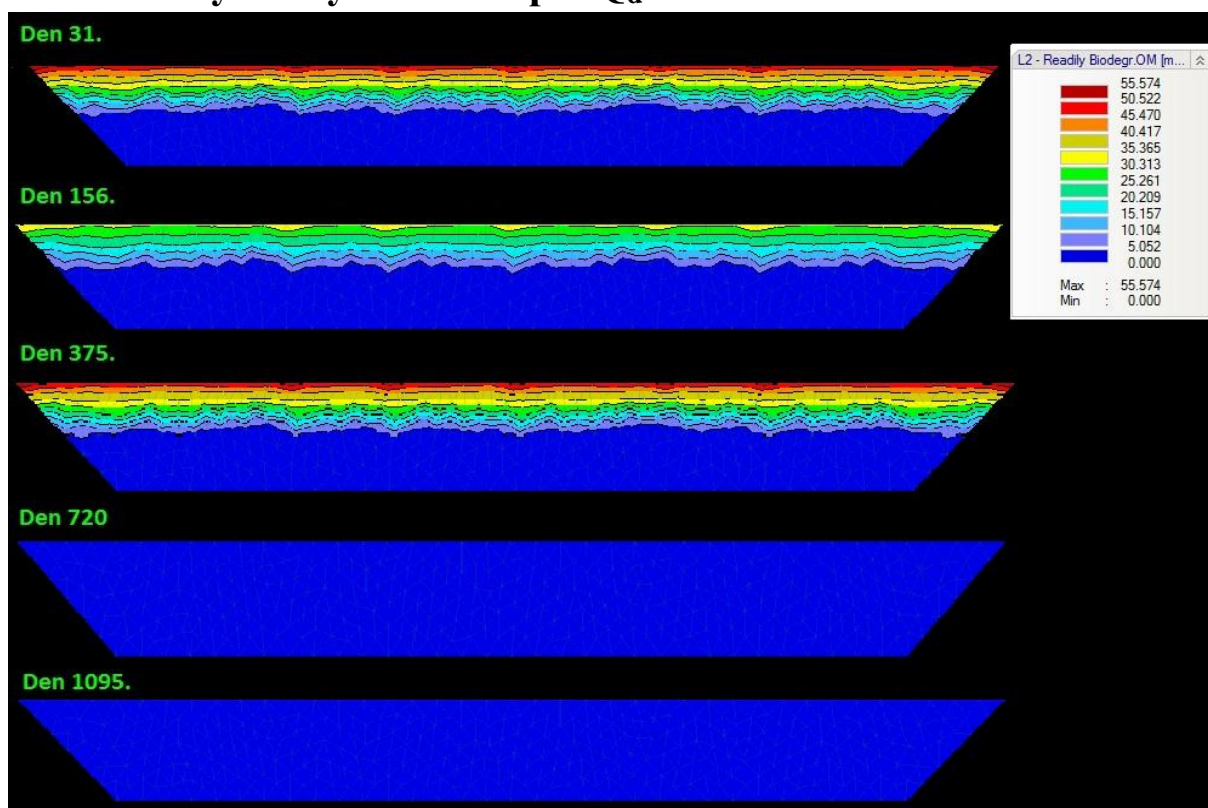


Obrázek 12- vývoj koncentrace CI - inerní složky CHSK_{Cr} ve vegetačním zeminém filtru při Q_{24}

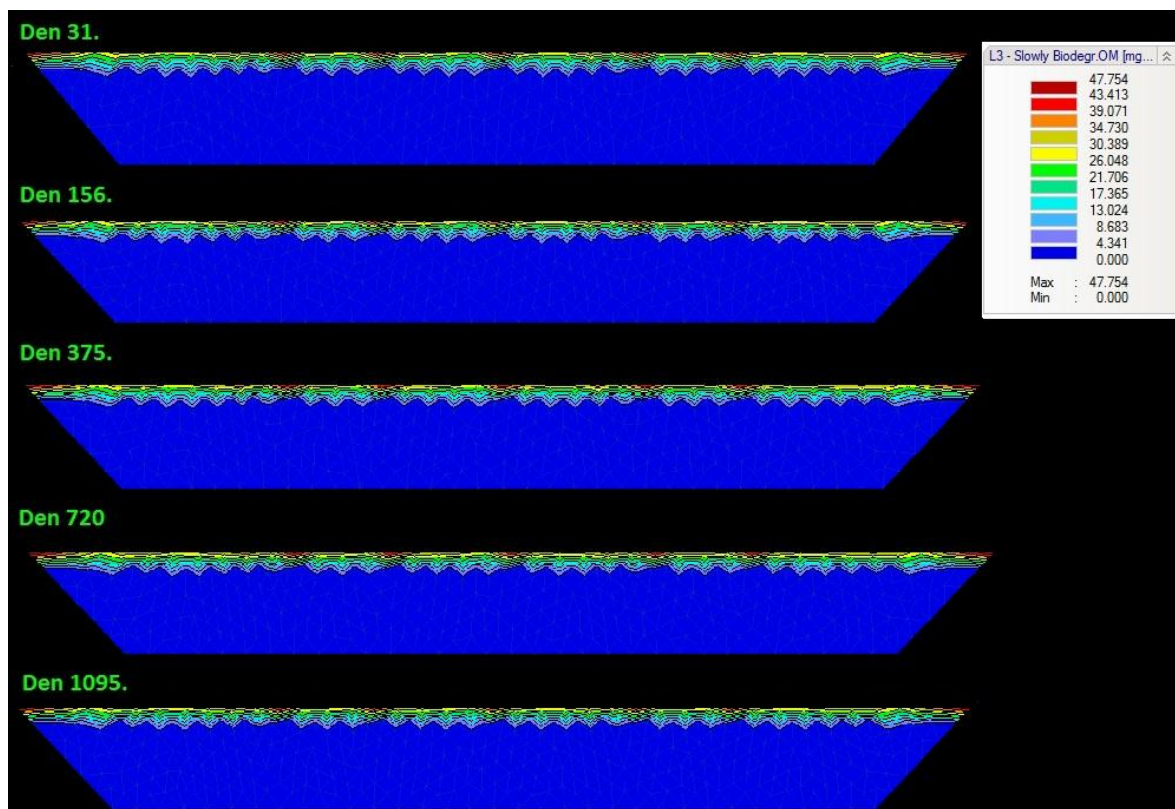


Obrázek 13 - vývoj koncentrace N-NH_4^+ v zeminém filtru při Q_{24}

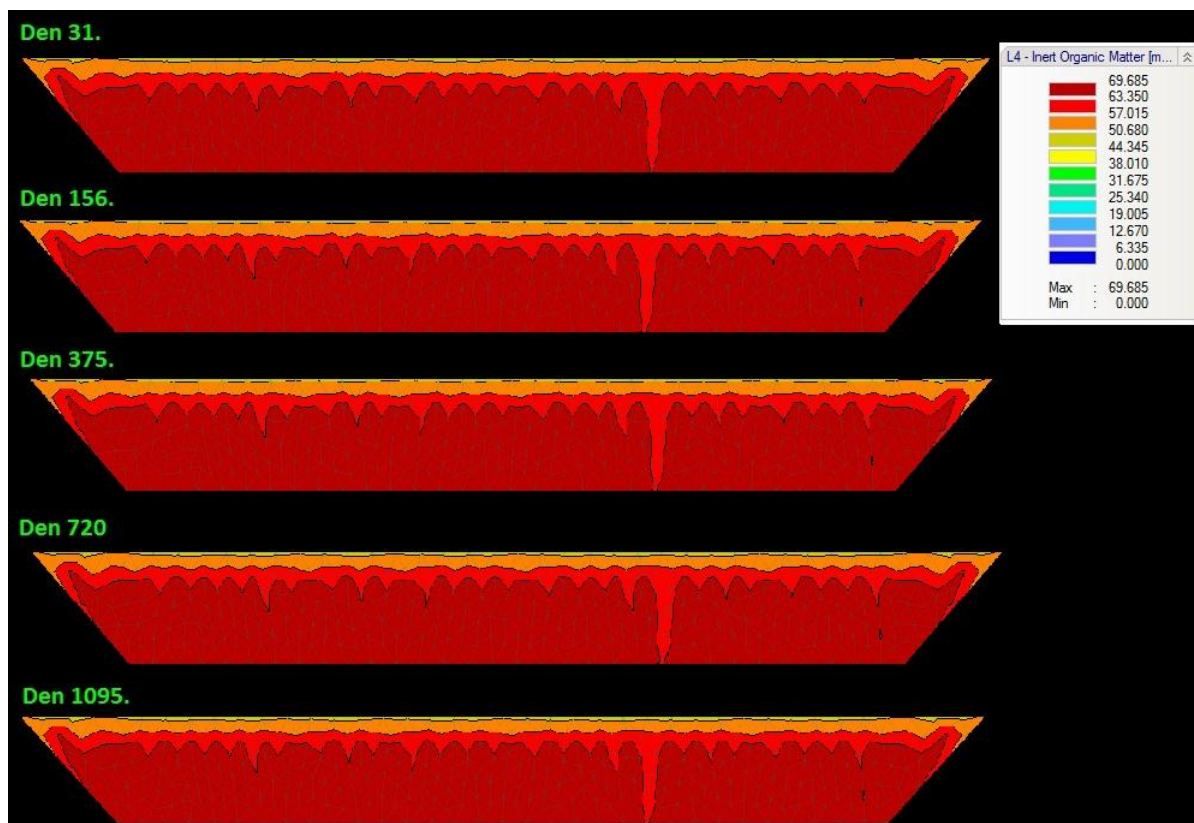
5.1.2 Výsledky simulace při Q_d



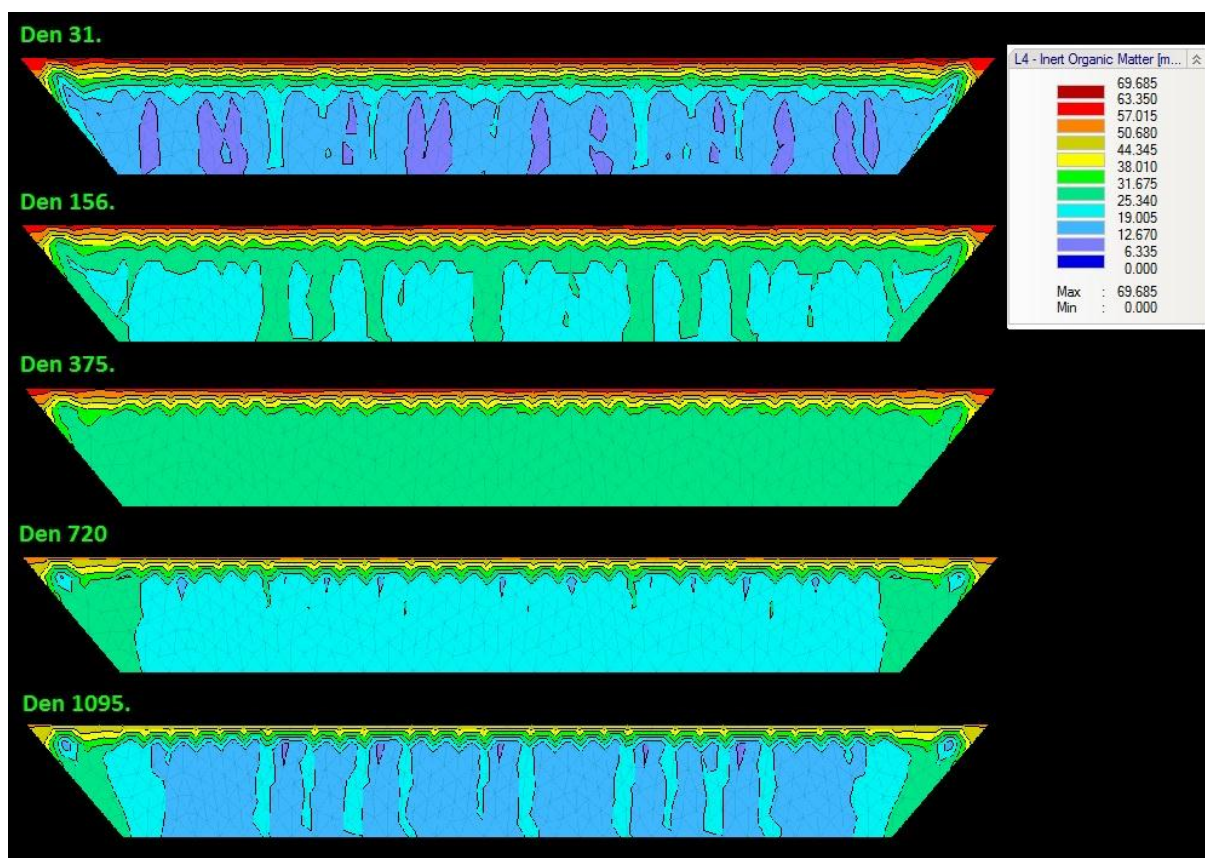
Obrázek 14 - vývoj koncentrace RC snadno rozložitelné složky -CHSK_{Cr} ve vegetačním zemním filtru při Q_d



Obrázek 15 - vývoj koncentrace SC pomalu rozložitelné složky CHSK_{Cr} ve vegetačním zemním filtru při Q_d



Obrázek 16 - vývoj koncentrace IC inertní složky CHSK_{Cr} ve vegetačním zemním filtru při Q_d



Obrázek 17 - vývoj koncentrace N-NH_4^+ ve vegetačním zemním filtru při Q_d

6 PROVOZNÍ DENÍK

Skoro hotovo

DISKUZE

Cílem této práce bylo využít dosud získaných poznatků z oblasti využívání přírodě blízkých technologií v praxi. Rozsah poznatků, v této oblasti se za posledních deset let tak rychle rozšířil a stále se rozšiřuje, že v současné době téměř nejsou aplikovány v praxi. Právě samotná oblast, které se týkají jim v dnešní době propívá. V případě této práce je to oblast vodního hospodářství zabývající se přírodě blízkými způsoby čištění odpadní vody. Tlak ze strany státu nutí stále menší sídelní celky k šetrnému nakládání s odpadními vodami k životnímu prostředí. Využití technicky náročných postupů je nákladné, a proto jsou zde nízkonákladové a k přírodě šetrné technologie, které jsou schopny tyto technicky a technologicky náročné systémy překonat.

Projekt se zabýval návrhem kořenové čistírny v malé obci Vlachova Lhota s 246 obyvateli. V samotném počátku návrhu jsem byl nucen získat data potřebná pro návrh technologie ČOV. Hlavními daty pro návrh byla koncentrace znečištění v odpadních vodách a množství odpadních vod produkované v obci. Množství produkovaných odpadních vod lze snadno spočítat dle specifických produkcí odpadních vod na obyvatele, které jsou uváděny v technických normách. Zde vyvstává problém s velikostí obce. Specifické hodnoty produkce odpadních vod jsou značně zastaralé a jejich platnost je dostačující pouze u větších sídelních celků. U malých sídelních celků je hodnota množství produkovaných odpadních vod a i jejich koncentrace během dne značně rozkolísaná. To stejné platí u koncentrací znečištění odpadních. Tudíž výsledný návrh technologie může být v reálných podmínkách nedostačující a dle mého názoru předimenzovaný.

Dalším problémem, na který jsem při návrhu narazil byla skutečnost, že sériová výroba prvků mechanického předčištění myslí pouze na větší sídelní celky. Všechny typizované objekty a zařízení pro mechanické předčištění nebyly vyhovující pro množství odpadních vod produkované obcí Vlachova Lhota. Vzhledem k těmto okolnostem jsem přistoupil k návrh rozměrově specifického objektu jemných česlí s lapákem písku, který mírně zvýší výslednou cenu stavby.

Při návrhu septiku jsem se dostal do významného rozporu s technickou normou pro navrhování čistíren odpadních vod ČSN 75 64 02. Norma uvádí 30% účinnost čištění CHSK v septiku. Na základě prostudované literatury jsem došel k závěru, že se jedná o hodnotu značně podhodnocenou a zvolil jsem střední hodnotu 50%. Také samotná čistící účinnost kořenových filtrů je dle mého názoru podhodnocena. Vzhledem k tomu jsem využil model

účinnosti kořenových filtrů, který byl vytvořen na základě tříletého sběru dat na výzkumném zařízení v Kotenčicích. Z výsledků tohoto modelu je zcela patrné, že celá technologická linka je schopna splnit vládní limity pro kategorii v níž je provozována.

ZÁVĚR

V této práci jsem navrhnul technologii úpravy odpadní vody pro obec Vlachova Lhota. Návrh technologické linky jsem podložil modelem účinnosti jejího hlavního prvku. K provedenému technologickému návrhu linky jsem vypracoval výkresovou dokumentaci.

CITACE

Normy a zákony

1. Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb. In: *23/2011 Sb.* 2010. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-23>
2. ČSN 75 6401. *Čistírny odpadních vod pro více než 500 ekvivalentních obyvatel.* 2014. Český normalizační institut, Praha, 2006.
3. ČSN 75 6402. *Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel.* Český normalizační institut, Praha, 1998.
4. ČSN 75 6261

Články

1. ABOU-ELELA, SI. a HELLAL, MS. (2012) : Municipal wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with Canna, Phragmites and Cyprus. *Ecological Engineering.* (47). ISSN 0925-8574. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.06.044>
2. DRTIL, M., BODÍK, I. (1993) : Chemické zrážanie fosforu, *Vodní hosp.* 43, 9, , 7 – 10
3. FOLLER, J., JELÍNEK, J., EYER, M. a VESELÝ, R. (2005) : Fyzikálně chemické hranice srážení fosforu ve vztahu k nařízení vlády č. 61/2003 Sb. *SOVAK: časopis oboru vodovodů a kanalizací.* **14**(6). ISSN 1210-3039.
4. HENZE, M., GUJER, W., MINO, T., van LOOSDRECHT, MCM. (2000) : Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3. *IWA Scientific and Technical Report No.9*, IWA Publishing, London, UK.
5. KRIŠKA, M. (2012) : Modelování proudění vody v komoře septiku. In: *Přírodní způsoby čištění a využití odpadních vod.: sborník přednášek ze semináře.* Brno: Vysoké učení technické, 2001, s. 9. ISBN 80-214-1862-1.
6. KRIŠKA-DUNAJSKÝ, M. (2013) : Vysoké učení technické v Brně: Zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže po dosažení definované maximální hladiny. 25544, užitečný vzor.

7. LANGERGRABER, G., ŠIMNEK, J. (2006) : The Multi-component ReactiveTransport Module CW2D for Constructed Wetlands for the HYDRUS SoftwarePackage, Manual – Version 1.0, HYDRUS Software Series 2, Department ofEnvironmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, CA, 72pp.
8. MOSHIRI, GA. (1993) : Constructed wetlands for water quality improvement: treaties and international agreements registered or filed and recorded with the Secretariat of the United Nations. Boca Raton: Lewis Publishers, 632 p. ISBN 08-737-1550-0.
9. MRVOVÁ, M. (2014) : Odpadové hospodářství na kořenové čistírně odpadních vod. Brno. 145 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
10. NĚMCOVÁ, M. (2015) : Modelování biochemických pochodů ve filtračním prostředí kořenových čistíren. Brno, 88 s. Diplomová práce Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, PhD.
11. OPLETAL, J. (2014) : Čistící účinnost vertikálních kořenových filtrů. Brno. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=77988. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
12. ROZKOŠNÝ, M., KRIŠKA, M., ŠÁLEK, J., BODÍK, I. a ISTENIČ, D. (2014) : Natural technologies of wastewater treatment. Outlay first. Praha: Global Water Partneship Central and Eastern Europe, 1 CD-ROM (131 stran). ISBN 978-80-214-4831-5.
13. ŠÁLEK, J. (1999) : Navrhování a provozování vegetačních kořenových čistíren. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. ISBN 80-86153-037-0.
14. ŠÁLEK, J., KRIŠKA, M., PÍREK, O., PLOTĚNÝ, K., ROZKOŠNÝ, M. a ŽÁKOVÁ, Z. Vegetační kořenové čistírny. *Tzb-info* [online]. [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/10058-vegetacni-korenove-cistirny>
15. ŠIMŮNEK, J., ŠEJNA, M., van GENUCHTEN, MT. (1999) : The HYDRUS-2D software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variablysaturated media - Version 2.0. IGWMC - TPS - 53, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, USA, 251p.
16. TUHOVČÁK, L., ADLER, P., KUČERA, T. a RACLAVSKÝ, J. (2006) : Vodárenství: A. Úprava vody. Brno: Vysoké učení technické v Brně.

17. USEPA. (2010) : Primary Treatment Units – Septic Tanks For Small Community Systems. Dostupné z: <http://www.iowadnr.gov/Environmental-Protection/Water-Quality/Private-Septic-Systems>
18. VYMAZAL, J. (2004) : Kořenové čistírny odpadních vod. ENKI O.P.S, Rakovník: Litografie Lokša PrePress Rakovník, 67 s. Obnova venkova. Dostupné z: <http://www.enki.cz/cs/publikace/ke-stazeni/item/93-korenove-cistirny-odpadnich-vod>

Internetové zdroje

- [1] <http://mesta.obce.cz/zsu/vyhledat-18326.htm> (k 29.12.2015)
- [2] https://cs.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1kos_obecn%C3%BD (k 9.1.2016)
- [3] <http://www.amet.cz/zlinpz.htm> (k 11.1.2016)
- [4] https://www.czso.cz/csu/czso/721011-12-r_2012-30 (k 11.1.2016)
- [5] <http://mas.plostina.cz/index.php?page=dokumenty> (k 10.1.2016)
- [6] <http://vlachova-lhota.cz/uzemni-plan/ds-1019> (k 27.12.2015)
- [7] <http://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/7128-vhodne-technologie-recyklace-fosforu-z-povrchovych-a-odpadnich-vod> (k 11.1.2016)

SEZNAM ZKRATEK

CR- snadno rozložitelné (readily biodegradable organic matter)

CS- pomalu rozložitelné (slowly biodegradable organic matter)

CI- inertní (Inert organic matter)

SEZNAM PŘÍLOH

1. Provozní řád
2. Technické výpočty
3. Výkresy